Untersuchungen über die Wirkung von Streptomycin auf einige Kulturpflanzen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Hans-Otfried Leh

aus Berlin

1958

Untersuchungen über die Wirkung von Streptomycin auf einige Kulturpflanzen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Hans-Otfried L e h
aus Berlin

1. Referent : Prof. Dr. D r a w e r t

2. Referent : Prof. Dr. R a u t e r b e r g

Tag der mündlichen Prüfung : 9. Juni 1958

Tag der Promotion : 26. Juli 1958

Inhalt

I. Einleitung . . . . . 1 - 4

II. Material und Methodik . . . . . 4 - 7

III. Versuchsergebnisse . . . . . 7 - 36

A. Beeinflussung höherer Pflanzen durch Streptomycin . . . . . 7 - 27

1. Pisum sativum 7

2. Vicia villosa 9

3. Glycine soja 11

4. Helianthus annuus 12

5. Cucumis sativus 15

6. Lactuca sativa 17

7. Spinacia oleracea 17

8. Callistephus chinensis 17

9. Zea mays 18

10. Tabellen und Abbildungen zum Abschnitt III A 19

B. Antagonistische Beeinflussung phytotoxischer Effekte des Streptomycins durch Magnesium- und Mangan-Ionen . . . . . 28 - 36

1. Avena sativa 28

2. Zea mays 29

3. Helianthus annuus 29

4. Glycine soja 30

5. Tabellen und Abbildungen zum Abschnitt III B 32

IV. Besprechung der Ergebnisse . . . . . 37 - 44

V. Zusammenfassung . . . . . 44 - 46

Literatur . . . . . 46 - 50

I. Einleitung .

Seitdem erstmalig im Jahre 1946 in Amerika die überraschende Beobachtung gemacht worden war, daß ein Zusatz von Antibiotika*) zu Futtermitteln das Wachstum landwirtschaftlicher Nutztiere günstig beeinflußt, und sich hieraus in der Folge eine weitreichende Anwendung antibiotischer Stoffe bei der Aufzucht von Jungtieren, insbesondere von Geflügel, Kälbern und Schweinen, ergab**), hat man auch den Einfluß der Antibiotika auf höhere Pflanzen untersucht. Die bisherigen Ergebnisse, die recht unterschiedlicher Natur sind, sollen im folgenden kurz besprochen werden.

RIBEIRO (61) beobachtete eine Verzögerung der Keimung von Salatsamen unter dem Einfluß von Penicillin. Dagegen wies SMITH (65) nach, daß das von ihm verwendete therapeutische Penicillin-Präparat 2,1 % β-Indolylessigsäure (IES) enthielt und infolgedessen im Gegensatz zu besonders gereinigtem Penicillin eine starke Keimungshemmung bewirkte. Das gleiche Ergebnis erhielten BEIN, SIGNER und SCHOPFER (6) in Versuchen mit Zea mays: Handelspenicillin wirkte in Konzentrationen von 5 und 10 Einheiten/ml stark hemmend auf das Wurzelwachstum, während reines Penicillin selbst bei 150 E./ml keine hemmende Wirkung zeigte.

Von EULER et al. berichteten in einer Reihe von Arbeiten (10,11,21,22,23,24) über eine Hemmung der Chlorophyllsynthese und des Wurzelwachstums bei Hordeum vulgare, Secale cereale, Lolium perenne, Phleum pratense, Vicia faba, Lactuca sativa und Raphanus radicula durch Streptomycin. ANDERSON und NIENOW (2) stellten die Aufnahme von Streptomycin durch die Wurzeln von Sojabohnen sowohl in Wasser- als auch in Erdkultur fest. Konzentrationen von 50 E./ml und mehr wirkten auf Tomaten- und Rettichsämlinge letal; Sojabohnen wurden nicht abgetötet, erfuhren aber eine deutliche Hemmung der Wurzelentwicklung.

In Versuchen von GÄUMANN et al. (25) brachte Patulin in Konzentrationen von 0,001 Mol und mehr die Plasmaströmung von Elodea canadensis innerhalb weniger Minuten zum Stillstand; bei Versuchen mit Stücken von Beta vulgaris rubra bewirkte das Antibiotikum den Austritt von Anthozyan aus den Zellen.

PROVASOLI et al. (59,60) beobachteten an bestimmten Stämmen von Euglena gracilis var. bacillaris einen permanenten Verlust des Chlorophylls nach vorhergehender Destruktion der Chloroplasten unter dem Einfluß von Streptomycin; 1 γ SM/ml bewirkte bereits eine wahrnehmbare Chloroplastenschädigung, 40 γ SM/ml völliges Ausbleichen. Eine Hemmung des Wachstums trat nicht ein, wenn der Verlust der Fähigkeit zur Photosynthese durch Zufuhr geeigneter Energie- und C-Quellen ausgeglichen wurde.

WILSON (75) und WILSON und BOWEN (76) untersuchten die zytologischen Wirkungen einer Reihe von Antibiotika an Wurzelmeristemzellen von Allium cepa und stellten erhebliche Störungen der Mitose unter dem Einfluß von Streptomycin, Neomycin, Actidion, Streptothricin, Aureomycin und Terramycin fest; es wurde eine Überkontraktion der Chromosomen sowie Verklumpungen und Verklebungen derselben beobachtet, teilweise begleitet von Funktionsstörungen des Spindelapparates.

- - - - - - - - - - - - - - - -

*) Antibiotika sind Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen, die bereits in sehr geringer Konzentration das Wachstum anderer Mikroorganismen mehr oder weniger selektiv hemmen oder diese abtöten.

**) Über die wissenschaftlichen Grundlagen der Anwendung von Antibiotika in der Tierernährung berichtet STOKSTAD (71), über die Problematik derselben VOGEL (73).

MACHT und HOFFMASTER (42) erhielten unter dem Einfluß von Antibiotika eine Verzögerung der Oxydations-Reduktions-Prozesse bei der Atmung von Lupinensamen, die sich in der Reihenfolge Penicillin - Streptomycin - Chloromycetin - Aureomycin verstärkte.

WRIGHT (79) prüfte den Einfluß verschiedener Antibiotika auf die Keimung von Weizen, Rotklee und Senf im Vergleich zu IES und Cumarin. Alle untersuchten Antibiotika zeigten eine geringere Toxizität als IES, übertrafen jedoch in den meisten Fällen die des Cumarins. Bei allen drei Versuchspflanzen hemmte Streptomycin die Chlorophyllsynthese.

WINTER und WILLEKE (78) und WINTER (77) stellten fest, daß sowohl Penicillin als auch Streptomycin von Kressesämlingen aus Nährlösung oder Komposterde aufgenommen wurden. Penicillin wurde in unsterilem Boden innerhalb kurzer Zeit inaktiviert, hauptsächlich infolge mikrobieller Zersetzung, während Streptomycin im Kompost noch nach 29 Tagen nachgewiesen werden konnte. 1,0 und 10,0 mg Streptomycin pro ml Bodenlösung bewirkten "auffallend starke Wachstumsstimulationen gegenüber den Kontrollen" (78). In Versuchen von MITCHELL et al. (46) wurde die Aufnahme von Streptomycin aus 0,2 %iger Wollfettpaste, die auf die Stengel von Bohnen aufgetragen worden war, nachgewiesen; das Antibiotikum wanderte in die Blätter und verhinderte den Befall der Pflanzen durch Pseudomonas medicaginis var. phaseolicola, den Erreger der Fettfleckenkrankheit der Bohne.

SCHOPFER et al. (68,69) beobachteten eine Hemmung der Chlorophyll- und Carotinoidsynthese sowie des Wurzelwachstums bei Pisum, Avena und Triticum unter dem Einfluß von Streptomycin. Chloromycetin übte gegenüber Pisum die gleiche Wirkung aus.

VENTURA (72) fand eine hemmende Wirkung von Terramycin in Konzentrationen von 50 - 1500 ppm auf die Entwicklung der Keimwurzel von Zea mays bei verschiedenen pH-Werten. NICKELL (51,52) dagegen erzielte eine günstige Beeinflussung der Keimung und Anfangsentwicklung von Rumex acetosa, Mais und Gurken in Erdkultur durch Wässern der Gefäße mit Terramycin-Lösungen niedriger Konzentrationen (1 - 10 ppm). HARRIS (31) goß in Gefäßen mit Lehmboden wachsende Maispflanzen mit Lösungen von Kalium-Penicillin, Procain-Penicillin, Bacitracin, Erythromycin und Streptomycin-Sulfat. Lediglich K-Penicillin bewirkte eine Wachstumsförderung, Procain-Penicillin dagegen eine Hemmung, während die anderen Antibiotika das Wachstum nicht merklich beeinflußten.

PRAMER (58) untersuchte Gurkenkeimlinge auf ihre Aufnahmefähigkeit für Antibiotika aus Nährlösungen und fand, daß Streptomycin und Chloromycetin von den Pflanzen aufgenommen und in die Blätter transportiert wurden; Aureomycin, Terramycin und Neomycin waren dagegen in den Blättern nicht nachzuweisen. Streptomycin wurde in den Pflanzen bis zur doppelten Konzentration der Nährlösung angereichert.

NICKELL und FINLAY (53) prüften den Einfluß einer großen Anzahl von Antibiotika auf das Wachstum von Lemna minor unter aseptischen Bedingungen und erhielten im Konzentrationsbereich von 1 bis 20 ppm eine beträchtliche Wachstumssteigerung mit Penicillin, Bacitracin und Isonikotinsäurehydrazid; Terramycin stimulierte das Wachstum nur in Konzentrationen bis 5 ppm, während Actidion, Aureothricin, Aureomycin, Catenulin, Neomycin, Polymyxin u.a. stark hemmend wirkten. 1 ppm Thiolutin bewirkte bei dreiwöchiger Versuchsdauer nur eine sehr geringe, nach 8 Wochen jedoch eine sehr starke Förderung; ähnliche Verhältnisse ergaben sich für Citrinin und Patulin.

Die Ausführungen von MATTEI (43) über von ihm beobachtete Wachstumsbeeinflussungen von Gemüse- und Blumenpflanzen in Wasserkultur unter dem Einfluß eines Zusatzes von Penicillin zur Nährlösung (ca. 1000 Einheiten pro Liter) muten geradezu sensationell an: die Pflanzen zeigten angeblich eine ungeheure Entwicklung, dreifache Produktion gegenüber der normalen, Immunität gegen Krankheiten, lebhaftere Blütenfarben und beträchtliche Zunahme des Blütenduftes. Nähere Angaben über die Art der Versuchspflanzen fehlen.

JOHNSTONE (3) beobachtete an Bohnensämlingen eine Wachstumssteigerung um ca. 75 %, wenn die Erde einige ppm Terramycin enthielt.

In Versuchen von CORTESI (17) förderte Penicillin (20 und 40 Einheiten/ml) das Wurzelwachstum von Allium cepa und Gladiolus spec., während Streptomycin (1 γ/ml), Chloramphenicol (40 γ/ml), Aureomycin und Terramycin (20 γ/ml) toxisch, vor allem "rhizocid", wirkten. BARTON und MacNAB (4) bestimmten den Einfluß einer Reihe von Antibiotika auf die Wurzelentwicklung von Weizenkeimlingen und fanden, daß Bacitracin, Polymyxin, Kalium-Penicillin, Streptomycin-Trihydrochlorid, Terramycin-Hydrochlorid und Thiolutin in für die einzelnen Substanzen jeweils unterschiedlichen Konzentrationsbereichen das Wachstum förderten, wenn destilliertes Wasser zur Verwendung kam, in Leitungswasser oder Nährlösung dagegen keine Wirkung zeigten. Andererseits wurde die Wurzelelongation in Leitungswasser durch Catenulin und Magnamycin gefördert. Streptomycin-Sulfat und rohes Terramycin entfalteten ihre Wirkung sowohl in Leitungs- als auch in destilliertem Wasser. Einquellen von Samen verschiedener Pflanzen in Lösungen antibiotischer Substanzen oder Bodenbehandlung mit Terramycin hatten keinen Einfluß auf Keimung und Wachstum.

NISSEN (54) untersuchte die Einwirkung von Antibiotika auf die CO_2-Produktion des Bodens und erhielt mit Penicillin, Chloromycetin und Terramycin eine anfängliche, geringe Hemmung der CO_2-Entwicklung, gefolgt von einem steilen Anstieg bis auf rd. das Doppelte der Kontrollwerte, wohingegen Aureomycin und Streptomycin eine geringfügige, aber persistierende Hemmung während der ganzen Versuchsperiode bewirkten. Die Menge des jeweils zugesetzten Antibiotikums betrug 0,5 - 0,7 %.

Griseofulvin wirkt nach STOKES (70) in Konzentrationen über 5 γ/ml toxisch auf Weizensämlinge.

NORMAN (55) stellte an Gurken, Lein, Mais und Gerste eine Hemmung der Wurzelentwicklung infolge Terramycinbehandlung fest; Versuche mit Mais, Hafer, Gerste und Sojabohnen in Erd- und Sandkultur ergaben keine Wachstumsbeeinflussung durch Terramycin. In den Versuchen von SCHEFFER und KLOKE (66) wurde die Keimung von Roggen in Sandkultur durch $4{,}75 \times 10^{-3}$ % Penicillin nicht beeinflußt, während Terramycin und Streptomycin die Entwicklung bereits bei $1{,}58 \times 10^{-3}$ % beeinträchtigten. In Sandkultur erfuhr Hafer keine Beeinflussung durch 3×10^{-3} % Terramycin; nachfolgender Lihoraps wurde geschädigt. Streptomycin schädigte dagegen Hafer stark, während in Nachkultur gebauter Lihoraps sich besser entwickelte. In einem Boden-Sand-Gemisch erwiesen sich alle drei Antibiotika bis zu einer Konzentration von 3×10^{-3} % als unwirksam gegenüber Hafer und Lihoraps.

KUTSCHAJEWA und JEGOROWA (39) prüften die Aufnahmefähigkeit mehrjähriger Gewächse für Penicillin, Aureomycin, Streptomycin u.a., wobei sich Penicillin als am leichtesten aufnehmbar erwies und sich in den Geweben gleichmäßig verteilte.

KRIBBEN (36,37) rechnet auf Grund seiner Beobachtungen über den Einfluß von Terramycin und Leukomycin auf das Streckungswachstum von Gurkenkeimlingen diese Antibiotika zu den Streckungswuchsstoffen.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse zum Teil recht widerspruchsvoll sind und sich ein klares Bild daraus nicht gewinnen läßt. Es steht lediglich fest, daß von Mikroorganismen gebildete, antibiotische Stoffwechselprodukte auch in höheren Pflanzen ihre Wirkung entfalten können, wobei die Reaktion der behandelten Pflanzen von einer ganzen Reihe verschiedener Faktoren abzuhängen scheint.

Aus mehreren Gründen erscheint es aber lohnend und notwendig, sich mit dem Problem weiter zu befassen. Vom rein wissenschaftlichen Standpunkt muß über die Registrierung der beobachteten Erscheinungen hinaus die Lösung der Frage angestrebt werden, worauf die Wirkungen der Antibiotika in der Pflanze letz-

ten Endes beruhen; aber auch von seiten der Praxis dürfte dem vorliegenden Problem ein gewisses Interesse entgegengebracht werden: einerseits weisen die in den bisherigen Versuchen z.T. festgestellten, positiven Effekte auf einen evtl. möglichen Einsatz von Antibiotika als Wachstumsstimulantien auch im Pflanzenbau hin, andererseits werden im Pflanzenschutz seit einigen Jahren Antibiotika zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten vorwiegend bakterieller Natur mit gutem Erfolg angewandt (32,37). Hierzu ist es aber - genau wie in der Humanmedizin - notwendig, zu wissen, wie die Pflanze, innerhalb derer ein pathogener Organismus bekämpft werden soll, auf das Antibiotikum reagiert und ob dieses nicht evtl. eine toxische Wirkung auf die Wirtspflanze selbst ausübt.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Wirkung des Streptomycins*) auf eine Reihe von Kulturpflanzen. Die gewonnenen Ergebnisse ermöglichen den Versuch einer Deutung der Art und Weise des Zustandekommens der beobachteten Effekte.

II. Material und Methodik.

Die Pflanzen wurden in Wasser- oder Erdkultur gezogen; die Applikation des Streptomycins erfolgte in den meisten Versuchen über die Wurzeln durch Zusatz zur Nährlösung bzw. zum Boden. In einigen Versuchsreihen wurden die Pflanzen mit Lösungen des Antibiotikums besprüht.

Als Versuchspflanzen für die Wasserkulturversuche dienten

E r b s e n (Pisum sativum "Wunder von Weißenfels"),
S o m m e r w i c k e n (Vicia villosa "Schweigers graubraune"),
S o j a b o h n e n (Glycine soja "Bitterhoffs frühe gelbe"),
S o n n e n b l u m e n (Helianthus annuus "v. Boguslawski 19/39"),
Z i e r t a b a k (Nicotiana alata),
G u r k e n (Cucumis sativus "Delikatess"),
H a f e r (Avena sativa "Lohmanns Weender IV Weißhafer"),
Z u c k e r m a i s (Zea mays "Golden Bantam").

Die Wasserkulturversuche wurden in der Regel in Reagenzgläsern nach der von BUSSLER (68) für Sonnenblumen beschriebenen Methode durchgeführt; in einigen Fällen dienten als Kulturgefäße Erlenmeyer-Kolben mit 100 ml Inhalt. Für jede zu testende SM-Konzentration wurden im allgemeinen 4 - 5, teilweise 6, Wiederholungen angesetzt.

- - - - - - - - - - - - - - - - - -

*) Anfangs wurde auch Penicillin in Form des Penicillin G - Natriumsalzes der Farbwerke Höchst A.G. in den Kreis der Untersuchungen einbezogen und bei Helianthus annuus und Solanum lycopersicum Wachstumsstimulationen erhalten; auf die Wiedergabe der Ergebnisse ist jedoch verzichtet worden, da es nicht als sicher angesehen werden kann, daß die Wirkung tatsächlich eine solche des Penicillins selbst darstellt. Einerseits ist die Möglichkeit nicht auszuschließen, daß das verwendete Präparat Spuren von Heteroauxin enthielt - vgl. (6) und (65) -, andererseits ist die Untersuchung des Penicillins hinsichtlich seiner Wirkung auf Pflanzen erheblichen versuchstechnischen Schwierigkeiten unterworfen, insofern, als das Antibiotikum unter unsterilen Bedingungen sehr rasch zersetzt wird und es sich daher kaum entscheiden läßt, ob die beobachteten Effekte durch das Penicillin selbst oder aber durch Abbauprodukte desselben bedingt sind; z.B. entsteht beim Abbau des Penicillin-Moleküls u.a. Phenylessigsäure, von der bekannt ist, daß sie wachstumsfördernde Eigenschaften besitzt.

Die verwendete Nährlösung hatte folgende Zusammensetzung:

1,00 g $Ca(NO_3)_2 \times 4\ H_2O$	= 0,170 g Ca	= 0,238 g CaO
	u. 0,119 g N	
0,25 g $MgSO_4 \times 7\ H_2O$	= 0,025 g Mg	= 0,041 g MgO
	u. 0,097 g SO_4	
0,25 g KH_2PO_4	= 0,072 g K	= 0,086 g K_2O
	u. 0,057 g P	= 0,130 g P_2O_5
0,12 g KCl	= 0,063 g K	= 0,076 g K_2O
	u. 0,057 g Cl	
0,10 g $FeSO_4 \times 7\ H_2O$	= 0,020 g Fe	= 0,029 g Fe_2O_3
	u. 0,035 g SO_4	

0,001 g B als H_3BO_3

1 ml A - Z - Lösung nach Hoagland

H_2O dest. ad 1000 ml

Konzentration: 1,24 g / 1000 , Anfangs-pH: 4,8

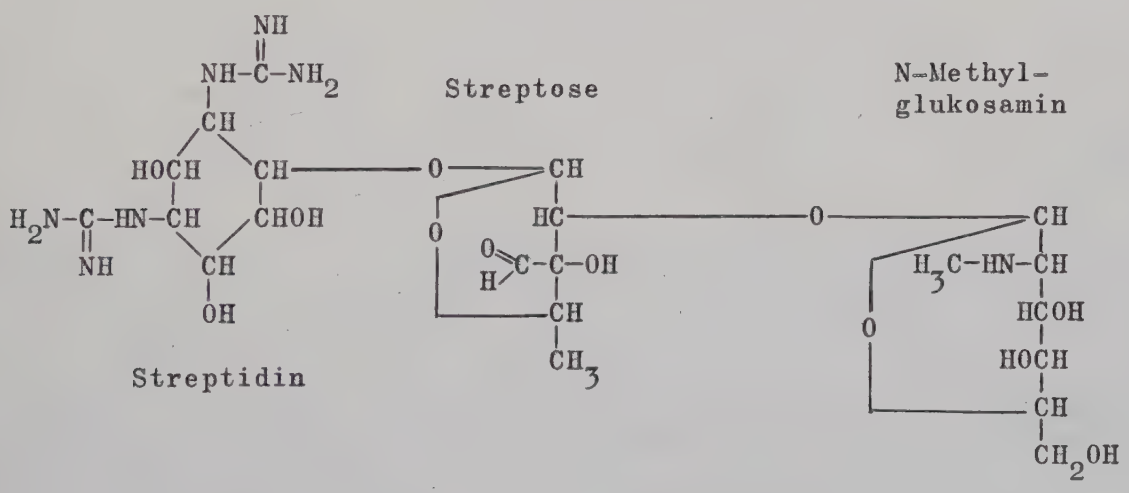
Zur Herstellung der Nährlösung wurden nur p.a.-Chemikalien (Merck) verwandt, KH_2PO_4 nach Sörensen.

Je Reagenzglas wurden 10 ml der oben beschriebenen Nährlösung - bzw. je 100 ml-Erlenmeyer-Kolben 50 ml - gegeben, das Antibiotikum in der jeweils zu untersuchenden Konzentration in wässriger Lösung zugesetzt und die Gefäße mit destilliertem Wasser bis ca. 2 cm unterhalb des Randes aufgefüllt.

Das Antibiotikum gelangte in Form von Dihydro-Streptomycin-Sulfat*) höchster z.Zt. erreichbarer Reinheit, wie es auch für medizinische Zwecke verwandt wird, zur Anwendung. **) Alle diesbezüglichen Konzentrationsangaben sind auf

- - - - - - - - - - - - - - - - - -

*) Konstitution des Streptomycins, nach HEROLD (34):



Summenformel: $C_{21}H_{39}N_7O_{12}$; Molekulargewicht: 581,6

Das in den nachstehend beschriebenen Versuchen verwendete Dihydro-Streptomycin unterscheidet sich vom Streptomycin darin, daß die Aldehydgruppe der Streptose hydriert ist.

**) Der Farbwerke Höchst A.G. danke ich für die Unterstützung, die sie der vorliegenden Arbeit durch die kostenlose Hergabe der Präparate zuteil werden ließ.

SM-Reinsubstanz*) berechnet (1,214 g Dihydro-SM-Sulfat = 1,0 g reines SM). Die SM-Lösungen wurden in der Regel unmittelbar vor ihrer Verwendung frisch hergestellt; in Ausnahmefällen gelangten Lösungen zur Verwendung, die 2 - 3 Tage im Kühlschrank bei ca. 5 Grad Celsius aufbewahrt worden waren. Mikrobiologische Teste zeigten keine merkliche Abnahme der antibiotischen Aktivität während dieser Zeit. Eine Erneuerung bzw. Ergänzung der Nährlösung erwies sich im allgemeinen als nicht notwendig. Das von den Pflanzen aus den Gläsern entnommene Wasser wurde täglich aus einem Vorratsbehälter oder aus der Spritzflasche nachgefüllt.

Nach dem Ansatz wurden die Gefäße in der Vegetationshalle bei natürlicher Belichtung oder unter einer Kunstlichtanlage folgender Zusammensetzung

1. 1 Lampe HNI de Luxe 202, 1.20 m, 40 W
2. 1 Lampe HNT 202, 1.20 m, 40 W
3. wie 1.
4. wie 2.
5. wie 1.

aufgestellt und die Entwicklung der Pflanzen laufend beobachtet. Darüber hinaus wurde bei den meisten Versuchsreihen am Ende des Versuchszeitraumes das Frisch- und Trockengewicht der Pflanzen bestimmt, z.T. wurde auch die Länge des Sprosses als Merkmal der Wachstumsbeeinflussung herangezogen. Die Trockengewichtsbestimmung erfolgte nach vierundzwanzigstündigem Trocknen des Pflanzenmaterials im Trockenschrank bei 105 Grad Celsius.

In den in Erdkultur durchgeführten Versuchen kamen als Versuchsobjekte

G u r k e n (Cucumis sativus "Delikatess"),
S a l a t (Lactuca sativa "Schreibers Princeps Treib-") und
Z u c k e r m a i s (Zea mays "Golden Bantam")

zur Verwendung. Die Pflanzen wurden in Komposterde angezogen und später in die Versuchsgefäße pikiert. Als solche dienten z.T. kleine Blumentöpfe (oberer Durchmesser 9 cm), z.T. physiologisch indifferente Kunststoffbecher aus Polystyrol (Volumen 200 ml). In den Gefäßen wurde jeweils nur eine Pflanze gezogen, um eine gegenseitige Nährstoffkonkurrenz auszuschließen. Als Kulturmedium diente im hiesigen Institut gewonnene, gesiebte Komposterde. Die Pflanzen wurden mit gleichen Mengen von SM-Lösungen verschiedener Konzentrationen gegossen, bis eine zu Beginn des Versuchs festgelegte Höchstmenge des Antibiotikums zugeführt worden war, dann nur noch mit destilliertem Wasser. Die Vergleichspflanzen erhielten anstelle von SM-Lösungen nur destilliertes Wasser.

Während der Versuchsdauer wurden an den Pflanzen auftretende Veränderungen laufend notiert und am Ende des Versuchszeitraumes die Frisch- und Trockengewichte bestimmt. Bei Mais wurde außerdem die Länge der Blattscheide, bei Gurken die Sproßlänge sowie Anzahl und Geschlecht der Blüten festgestellt.

Die Anzucht der Pflanzen für die Spritzversuche erfolgte in der für die Erdkulturversuche beschriebenen Weise. Als Kulturgefäße dienten mit Komposterde gefüllte Blumentöpfe. Die Töpfe wurden vor Versuchsbeginn mit Watte abgedeckt, um ein Eindringen von Spritzlösung in die Erde zu verhindern. Die Pflanzen wurden in der Regel in 2 - 3-tägigen Abständen mittels eines Zerstäubers**) mit SM-Lösungen in Konzentrationen zwischen 0 und 100 ppm besprüht; die Lösungen enthielten außerdem 0,1 % Hostapon als Netzmittel. Nach Ablauf der Ver-

- - - - - - - - - - - - - -

*) Aus Gründen der Raumersparnis wird für Streptomycin in der Folge die Abkürzung "SM" angewandt.

**) Als Zerstäuber diente eine mittels Gummistopfen auf einen Erlenmeyer-Kolben aufgesetzte und mit einem Gummiball als Gebläse versehene Glasdüse. Hersteller der Apparatur: Fa. W. Kauhausen, Berlin-Lichterfelde.

suchsperiode wurde das Frisch- und Trockengewicht der grünen Pflanzenteile bestimmt, bei den Gurken außerdem die Sproßlänge ausgemessen und Anzahl und Geschlecht der Blüten festgestellt.

Als Versuchspflanzen dienten

S p i n a t (Spinacia oleracea "Rhenania Hochzucht"),
A s t e r n (Callistephus chinensis "Amerikan. Schönheitsaster") und
G u r k e n (Cucumis sativus "Delikatess").

III. Versuchsergebnisse.

A. Beeinflussung höherer Pflanzen durch Streptomycin.

1. P i s u m s a t i v u m .

Bei Erbsen in Wasserkultur konnten durch Zugabe geringer SM-Mengen zur Nährlösung recht beträchtliche Wachstumssteigerungen erzielt werden. Mit SM-Gaben von 0,01 bis 2,0 ppm behandelte Pflanzen entwickelten gegenüber den unbehandelten Vergleichspflanzen längere und z.T. etwas stärkere Stengel (Abb. 1, 2) und in der Regel eine größere Blattfläche. Die stärkste Förderung der Massenproduktion der grünen Pflanzenteile bewirkten SM-Konzentrationen zwischen 0,2 und 2,0 ppm, das Maximum lag bei 1,0 ppm (Tab. 1). Bei einer unter Kunstlicht im Langtag durchgeführten Versuchsreihe war das Maximum der Stimulation nach 2,0 ppm verschoben (Tab. 2).

In dem genannten Konzentrationsbereich scheint das Antibiotikum einen günstigen Einfluß auf die Blütenbildung auszuüben, insbesondere dann, wenn die Pflanzen unter Kunstlicht gezogen werden. Die mit 1,0 und 2,0 ppm SM behandelten Pflanzen dieser Versuchsreihe blühten bereits zu 100 %, als die Kontrollen noch nicht einmal Blütenansätze zeigten. Auch ein erheblicher Teil der mit SM-Konzentrationen von 0,01 bis 0,5 ppm behandelten Pflanzen blühte zu diesem Zeitpunkt oder zeigte wenigstens Blütenansätze. Es sei jedoch dahingestellt, ob die Wirkung des SM auf die Blütenentwicklung primärer oder sekundärer Natur ist, d.h. ob das Antibiotikum, wie man zunächst vermuten könnte, selbst als"Blühhormon"fungiert, oder ob unter dem Einfluß des Antibiotikums der physiologische Alterungsprozeß beschleunigt wird und die Pflanzen infolgedessen früher in die blühfähige Phase eintreten.

Bei höheren SM-Gehalten der Nährlösung geht die stimulierende Wirkung des Antibiotikums in eine toxische über, die sich in chlorotischen Erscheinungen und allgemeiner Wachstumshemmung ausdrückt, welche mit steigender SM-Gabe an Intensität zunehmen. Während die mit SM-Dosen bis zu 2,0 ppm behandelten Pflanzen normal grün gefärbt waren, bewirkte eine SM-Konzentration von 5,0 ppm eine Aufhellung der grünen Pflanzenteile, die sich in Richtung auf die Sproßspitze verstärkte. Das Längenwachstum dieser Pflanzen wurde durch das

Antibiotikum bereits etwas beeinträchtigt (Abb. 3). Die mit 10,0 ppm SM behandelten Erbsenpflanzen zeigten an den Blattrippen sowie an den Basen der Fiedern der jüngeren Blätter schon deutliche Chlorosen. Das Längenwachstum des Sprosses war gegenüber dem der Kontrollpflanzen deutlich gehemmt. Auf die Blütenentwicklung wirkte das Antibiotikum in diesen Konzentrationen ebenfalls hemmend; die so behandelten Pflanzen kamen unter Kunstlicht überhaupt nicht, bei natürlicher Belichtung nur vereinzelt zur Blüte. Aus einem SM-Gehalt der Nährlösung von 50 und 100 ppm resultierte eine deutliche und schnelle Schädigung der Pflanzen in der Weise, daß das Längenwachstum des Sprosses stark gehemmt und sowohl der obere Sproßabschnitt als auch die Blattstiele und Fiederblättchen der jüngeren Blätter von starken Chlorosen betroffen wurden (Abb. 4). Die Pflanzen starben schließlich unter Welkeerscheinungen ab.

Hinsichtlich der Beeinflussung der Wurzelentwicklung wurden folgende Feststellungen gemacht: SM-Konzentrationen von 0,01 bis 0,5 ppm zeigten eine günstige Wirkung und förderten das Längenwachstum sowohl der Hauptwurzel als auch der Nebenwurzeln. Ein SM-Gehalt der Nährlösung von 1,0 ppm und mehr bewirkte eine zunehmende Beeinträchtigung des Wurzelwachstums in der Weise, daß sich zunächst die Zahl der Nebenwurzeln 1.Ordnung verringerte und ihr Längenwachstum gehemmt war. SM-Konzentrationen über 2,0 ppm wirkten auch auf das Längenwachstum der Hauptwurzel hemmend (Abb. 5). Aus dem unteren Abschnitt der Hauptwurzel entstanden kaum noch Nebenwurzeln. Soweit solche im Zentralzylinder angelegt wurden, blieben sie im Rindenparenchym stecken, ohne daß die Epidermis durchbrochen wurde.

Bei einem SM-Gehalt der Nährlösung von 2,0 ppm und mehr traten an den Enden der Nebenwurzeln 1.Ordnung keulige bis knotige Anschwellungen im Bereich der Streckungszone unmittelbar hinter dem Vegetationspunkt auf. Konzentrationen von 5,0 ppm und darüber riefen derartige Anschwellungen auch an den Enden der Hauptwurzeln hervor (Abb. 6,7) *). Die mikroskopische Untersuchung der Wurzelanomalien zeigte eine auffällige Veränderung der Rindenparenchymzellen in der verdickten Region. Während die Zellen des Rindenparenchyms normalerweise schmal und gestreckt sind (Abb. 8), sind sie hier stark vergrößert und nehmen mehr oder weniger isodiametrische Gestalt an (Abb. 9). Die Anzahl der Rindenparenchymzellen scheint hingegen nicht vermehrt zu werden.

Diese Wurzelanschwellungen waren bei einer SM-Konzentration von 10,0 ppm am stärksten ausgeprägt, während bei 100 ppm eigentümliche Verkrümmungen der Wurzelspitzen das Bild beherrschten (Abb. 7).

- - - - - - - - - - - - - - - -

*) Das Auftreten von Keulenwurzeln kann jedoch nicht als für SM spezifisch angesehen werden, da solche auch bei andersgearteten Schädigungen der Pflanzen auftreten.

Mit den beschriebenen Wurzelveränderungen geht eine offenbar irreversible Schädigung des Wurzelvegetationspunktes einher. Wurden die Pflanzen, deren Wurzeln derartige Anschwellungen aufwiesen, in SM-freie Nährlösung zurückgebracht, so trat erneutes Längenwachstum nicht ein. Statt dessen entwickelten sich bei den vorher mit 5 ppm SM behandelten Pflanzen stets mehrere Seitenwurzeln unmittelbar oberhalb der angeschwollenen Region oder aus dieser selbst (Abb. 10,11). Bei den mit höheren SM-Mengen behandelten Pflanzen war die Schädigung dagegen so weit fortgeschritten, daß auch die Ausbildung derartiger Seitenwurzeln unterblieb. Lediglich solche Pflanzen, die nur relativ kurze Zeit in Nährlösung mit 10 ppm SM kultiviert worden waren, entwickelten bisweilen Seitenwurzeln in der oben beschriebenen Weise, jedoch bei weitem nicht so regelmäßig und dann nach einer deutlich längeren Regenerationsphase als die mit 5 ppm SM behandelten Pflanzen.

Die Toleranz der Wurzeln von Pisum sativum gegenüber SM erwies sich somit als geringer als die der grünen Pflanzenteile. Während sowohl unter natürlichen als auch unter künstlichen Lichtverhältnissen eine Konzentration von 2,0 ppm noch eine deutliche Förderung des Sproßwachstums erbrachte, bewirkte eine solche von 1,0 ppm bereits eine Hemmung der Wurzelentwicklung.

Die bisher beschriebenen Befunde beziehen sich auf Versuche, bei denen die Pflanzen mit dem anhängenden Samen in die Nährlösung gebracht wurden. Auch nach Entfernung des Samens beim Ansatz konnte ein wachstumsfördernder Einfluß des SM festgestellt werden; allerdings lag hier das Maximum der Stimulation sowohl bei den Wurzeln als auch bei den grünen Pflanzenteilen bei einem SM-Gehalt der Nährlösung von 0,5 ppm, und die prozentuale Förderung war weniger stark als bei den mit Samen in die SM-haltige Lösung gebrachten Pflanzen. Dies liegt möglicherweise daran, daß diese Pflanzen mehr SM aus der Lösung aufnehmen und infolgedessen die Konzentrationsschwelle, oberhalb derer die wachstumsfördernde Wirkung in eine -hemmende übergeht, schneller erreicht und überschritten wird als bei den mit Samen angesetzten. Es könnte jedoch auch daran gedacht werden, daß das SM möglicherweise eine schnellere Mobilisierung der in den Samen vorhandenen Reservestoffe und auf diese Weise eine Wachstumsbeschleunigung bewirkt. In Bezug auf die chlorotischen Erscheinungen wurden in beiden Fällen die gleichen Beobachtungen gemacht.

2. Vicia villosa.

Bei diesem Objekt zeigte sich in Wasserkultur eine deutliche Beeinflussung des Längenwachstums des Sprosses, die etwa 10 Tage nach Verbringung der Pflanzen in die SM-haltige Nährlösung sichtbar zu werden begann. Eine SM-Konzentration von 0,01 ppm blieb innerhalb der Fehlergrenzen ohne sichtbare

Wirkung. Im Konzentrationsbereich von 0,1 bis 2,0 ppm bewirkte das Antibiotikum eine Förderung des Längenwachstums, die bei 1,0 ppm am stärksten war (Tab. 3). Die Förderung des Längenwachstums beruht hier, wie bei allen anderen Objekten, bei denen eine derartige Reaktion auf eine Behandlung mit entsprechend niedrigen SM-Dosen festgestellt wurde, nicht auf einer verstärkten Zellstreckung, sondern offenbar auf einer Stimulation der meristematischen Aktivität. Entsprechend dürfte die durch höhere SM-Gaben induzierte Wachstumshemmung auf eine Verminderung der meristematischen Tätigkeit zurückzuführen sein.

SM-Konzentrationen von 5,0 ppm und darüber hatten eine zunehmende Hemmung des Sproßwachstums zur Folge, die sich in einer Verkürzung der oberen Internodien und einer Verringerung der Internodienzahl ausdrückte. Die Wachstumshemmung war begleitet von dem Auftreten mehr oder weniger großer, anfangs zinnober-, später braunroter Flecken auf den Fiedern der jüngsten Blätter, vorwiegend an der Basis der Fiederblättchen und im Bereich seitlich der Hauptader, teilweise auch am Rande gelegen (Abb. 12), die sich unter dem Mikroskop als unregelmäßig begrenzte Bezirke nekrotisierter Zellen erwiesen. Die Nekrosen ergriffen zunächst die Epidermis der Oberseite der Blattfiedern und schritten dann über die Parenchymzellen bis zur unteren Epidermis fort. Die nekrotisierten Gewebepartien fielen schließlich zum Teil aus. Auch die Gefäße wurden strekkenweise von Nekrosen betroffen. Desgleichen traten an den Blattstielen - zuerst unmittelbar ober- oder unterhalb der Insertionsstellen der Fiederblättchen - Nekrosen auf, gelegentlich waren die Ranken streckenweise rot verfärbt und oberflächlich nekrotisiert. Die Häufigkeit dieser Veränderungen und ihre Intensität nahm mit steigendem SM-Gehalt der Nährlösung zu; während Anzahl und Ausdehnung der Nekrosen bei 5,0 und 10,0 ppm SM noch relativ gering waren und nicht alle Pflanzen derartige Symptome zeigten, waren die mit 50 und 100 ppm SM behandelten in erheblich stärkerem Maße und alle annähernd gleichstark betroffen. Bei den mit 50 und 100 ppm SM behandelten Pflanzen vertrockneten die Fiederblättchen schließlich von der Spitze her und fielen ab.

Hinsichtlich der Wirkung des SM auf das Wurzelwachstum von Vicia villosa in Wasserkultur wurden folgende Beobachtungen gemacht: Eine Beeinflussung des Längenwachstums der Primärwurzel war im Konzentrationsbereich von 0,01 bis 0,5 ppm innerhalb der Fehlergrenzen nicht festzustellen. Allerdings erschienen die Nebenwurzeln 1.Ordnung durch 0,1 und 0,5 ppm SM in Anzahl und Länge etwas gefördert. 1,0 ppm SM bewirkte eine Förderung des Längenwachstums der Hauptwurzel um ca. 10 %, jedoch waren die Nebenwurzeln 1.Ordnung im Längenwachstum bereits etwas gehemmt. Ein SM-Gehalt der Nährlösung von 2,0 ppm hatte eine Hemmung des Längenwachstums der Hauptwurzel um ca. 10 % zur Folge, während die Nebenwurzeln noch beträchtlich stärker als durch 1,0 ppm SM im Wachstum beeinträchtigt waren. 5,0 und 10,0 ppm SM unterdrückten die Ausbil-

dung von Nebenwurzeln fast vollständig; soweit beim Ansatz oder unmittelbar danach bereits Nebenwurzeln aus dem basalen Teil der Hauptwurzel entstanden waren, wurden sie bei diesen SM-Konzentrationen im Längenwachstum sehr stark beeinträchtigt und zeigten an ihren Spitzen keulige Anschwellungen. Auch an den Spitzen der im Längenwachstum gegenüber denjenigen der unbehandelten Vergleichspflanzen um ca. 35 % gehemmten Hauptwurzeln traten einige Tage nach dem Ansatz derartige Anschwellungen auf. Im unteren Teil der Hauptwurzel angelegte Nebenwurzeln blieben z.T. bereits im Rindenparenchym stecken; soweit sie die Epidermis durchbrachen, stellten sie ihr Wachstum unmittelbar darauf ein. Die Epidermis zeigte - von solchen Durchbruchstellen ausgehend - lange Risse, die sich vielfach, wahrscheinlich infolge Infektion, braun oder schwarz verfärbten. 50 und 100 ppm SM bewirkten eine noch weitgehendere Hemmung des Längenwachstums der Hauptwurzel, an denen früher und in noch stärkerem Maße knollige bis keulige Verdickungen auftraten (Abb. 14). Eine Ausbildung von Nebenwurzeln erfolgte hier nur in Ausnahmefällen aus dem obersten Teil der Hauptwurzel unter Auftreten der bei den mit 5,0 und 10,0 ppm SM behandelten Pflanzen beschriebenen Veränderungen (Abb. 13). Auch für die Nebenwurzelanlagen im unteren Teil der Hauptwurzel - soweit vorhanden - gilt das oben für 5,0 und 10,0 ppm Gesagte. Die mikroskopische Untersuchung der angeschwollenen Wurzelpartien zeigte, ebenso wie bei Pisum sativum, eine starke Vergrößerung und Formveränderung der Rindenparenchymzellen.

3. Glycine soja.

Auf Sojabohnen in Wasserkultur hatte SM keinen nachweisbar günstigen Einfluß. Zwar erschien bei einem SM-Gehalt der Nährlösung von 0,01 ppm das Längenwachstum des Sprosses bei einigen der so behandelten Pflanzen etwas gefördert, jedoch war der Unterschied gegenüber den unbehandelten Vergleichspflanzen recht gering und statistisch nicht ausreichend gesichert. SM-Konzentrationen über 0,1 ppm bewirkten eine zunehmende Depression des Sproß-Längenwachstums (Tab. 4), bedingt durch Verkürzung der oberen Internodien; das Längenwachstum des Hypokotyls wurde nicht beeinflußt (Abb. 15).

An den Primärblättern der mit 10,0 ppm SM behandelten Pflanzen zeigten sich einige Zeit nach dem Ansatz mehr oder weniger große, nekrotische Flecken im Interkostalgewebe, zunächst an der Blattbasis, die im Laufe der Zeit an Zahl und Größe zunahmen und sich schließlich über das gesamte Blatt verteilten (Abb. 16). Auch die Adern nekrotisierten dann streckenweise. Die Primärblätter begannen schließlich von der Umgebung der Nekrosen her zu vertrocknen und fielen ab (Abb. 17). Die Sekundärblätter wurden später ebenfalls von Nekrosen betroffen, die sich hier jedoch meist flächenförmig vom Rande der Fiedern her ausbreiteten. Infolge der dabei auftretenden Gewebespannungen zeigten die

Fiedern wellige Form bzw. rollten sich von der Spitze her ein. Bei den mit 100 ppm SM behandelten Pflanzen traten einige Tage nach dem Ansatz an den Primärblättern ebenfalls zahlreiche nekrotische Flecken auf; die Blätter vertrockneten dann sehr schnell und die Pflanzen starben ab, i.a. bevor die Sekundärblätter voll zur Ausbildung gekommen waren. Die Kotyledonen wurden bei diesen Pflanzen nicht abgebaut. Aus den Achseln der Kotyledonen entwickelten sich bei einigen der so behandelten Pflanzen chlorotische Achseltriebe. Eine oberflächliche Nekrotisierung von Teilen des Hypokotyls beruht, wie die mikroskopische Untersuchung ergab, auf dem Absterben von Epidermis- und Rindenparenchymzellen, während der Zentralzylinder keine Veränderungen zeigte.

Die Entwicklung der Wurzeln wurde bei einem SM-Gehalt der Nährlösung von 1,0 ppm und mehr zunehmend beeinträchtigt; von der Schädigung wurden zunächst die Nebenwurzeln betroffen. Höhere SM-Konzentrationen hemmten auch das Längenwachstum der Hauptwurzel. SM-Konzentrationen von 10,0 ppm und mehr riefen keulige Anschwellungen an den Enden der im Längenwachstum stark beeinträchtigten Nebenwurzeln 1.Ordnung hervor, jedoch waren diese Veränderungen nicht so auffällig wie bei Pisum sativum und Vicia villosa.

4. H e l i a n t h u s a n n u u s .

Bei Sonnenblumen in Wasserkultur konnte eine Beeinflussung des Wachstums in günstigem Sinne ebenfalls nicht erzielt werden. Die Pflanze besitzt von allen im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Objekten die geringste Toleranz gegenüber dem Antibiotikum. SM-Konzentrationen von 0,1 ppm und weniger hatten keinen sichtbaren Einfluß auf die Pflanzen; Konzentrationen von 0,5 ppm und mehr wirkten toxisch.

Bei einem SM-Gehalt der Nährlösung von 0,5 ppm trat 5 - 6 Tage nach Verbringung der Pflanzen in die Lösung eine Chlorose an der Basis der 1.Folgeblätter auf, die im weiteren Verlauf der Entwicklung zum völligen Ausbleichen der Blattbasis führte. Die bei höheren SM-Gaben auftretenden Symptome entsprachen im Prinzip den für 0,5 ppm beschriebenen: Die Schädigung trat zunächst in Gestalt von Chlorosen an den Basen der 1.Folgeblätter in Erscheinung, wenn die Pflanzen im Keimblattstadium in die SM-haltige Nährlösung gebracht worden waren. Die Chlorosen waren in Intensität und Ausdehnung von der Konzentration des Antibiotikums in der Nährlösung abhängig; während sie bei 0,5 ppm SM auf die Basis der Folgeblätter beschränkt blieben, schoben sie sich mit steigender SM-Gabe zunehmend in Richtung auf die Blattspitze vor. Ein SM-Gehalt der Lösung von 5,0 ppm erzeugte nach 4 - 5 Tagen Chlorosen an den Basen der 1.Folgeblätter, die sich nach 8 - 10 Tagen über die ganze untere Blatthälfte erstreckten und nach 15 - 20 Tagen fast die gesamte Blattspreite ergriffen hatten. Die 1.

Folgeblätter führten zu diesem Zeitpunkt nur noch an den Spitzen und teilweise an den Rändern Chlorophyll. Die inzwischen entwickelten 2.Folgeblätter waren mindestens in der ganzen unteren Hälfte völlig chlorotisch. Die Ausbildung der 3.Folgeblätter erfolgte bei den so behandelten Pflanzen nur in Ausnahmefällen, wie auch die 1. und 2.Folgeblätter deutlich kleiner blieben als bei den nicht oder mit niedrigeren SM-Konzentrationen behandelten Pflanzen. Das Epikotyl war bereits nach 8 - 10 Tagen chlorotisch und zeigte im weiteren Entwicklungsverlauf eine deutliche Beeinträchtigung des Längen- und Dickenwachstums. Die Kotyledonen wurden wesentlich langsamer abgebaut als bei den Vergleichspflanzen. Bei Sonnenblumen, die mit 10,0 ppm SM behandelt worden waren, traten bereits 2 - 3 Tage nach dem Ansatz Chlorosen an den Basen der 1.Folgeblätter auf, die nach 5 - 6 Tagen die gesamte Blattfläche mit Ausnahme der Spitzenregion ergriffen hatten. Nach 8 - 10 Tagen waren nur noch Spuren von Chlorophyll an den Spitzen der im Wachstum stark beeinträchtigten 1.Folgeblätter vorhanden; das Epikotyl war deutlich chlorotisch. Nach 15 - 20 Tagen waren die 1. und 2.Folgeblätter im allgemeinen völlig weiß, nur in Ausnahmefällen enthielten die Blattspitzen noch Spuren von Chlorophyll. Die Ausbildung der 3.Folgeblätter unterblieb völlig. Das Epikotyl war stark chlorotisch, die Kotyledonen wurden in der Regel nicht abgebaut.

SM-Konzentrationen von 5,0 ppm und mehr bewirkten in mehr oder weniger auffälliger Weise eine Veränderung der Blattform: Die Blätter zeigten schmälere Gestalt als die der nicht mit SM behandelten Vergleichspflanzen. Diese Reaktion war, wenn die Pflanzen im Zeitpunkt des Erscheinens der 1.Folgeblätter in die das Antibiotikum enthaltende Lösung gebracht wurden, an den 2.Folgeblättern, die also erst nach dem Beginn der SM-Einwirkung angelegt worden waren, sehr viel augenfälliger als an den 1., bei Beginn der SM-Einwirkung bereits vorhanden gewesenen Folgeblättern. In der Regel waren jedoch auch die 1.Folgeblätter in ihrer Form bereits deutlich verändert, dergestalt, daß der Spitzenbereich breiter als die Blattbasis war, die Blätter also eine löffelähnliche Form annahmen (Abb. 18; 19e,f,g; 20). Die 2.Folgeblätter waren vielfach pfriemförmig gestaltet (Abb. 18,20).

Eine Konzentration von 100 ppm SM bewirkte schon nach 2 Tagen eine weitgehende Chlorose der gesamten Spreite der 1.Folgeblätter. Nach 3 - 4 Tagen traten Einrollungen und Verkrümmungen der Blattränder und Blattspitzen auf, gelegentlich von Nekrosen begleitet. Nach 8 - 10 Tagen waren die Pflanzen allgemein stark geschädigt, die 1.Folgeblätter nicht voll ausgebildet und völlig chlorotisch mit Nekrosen an den Rändern und z.T. auch auf der Spreite; teilweise nekrotisierten die Hypokotyle und knickten ab. Nach 15 - 20 Tagen waren die so behandelten Pflanzen in der Regel sämtlich abgestorben und vertrocknet, die Wurzeln braun verfärbt und verschleimt. Unter künstlichen Lichtverhält-

nissen blieben die Pflanzen länger am Leben als unter natürlichen, obwohl die Chlorosen hier durchweg schneller und intensiver in Erscheinung traten.

Auch auf die Wurzeln von Helianthus annuus übte das Antibiotikum eine stark toxische Wirkung aus. Bereits ein SM-Gehalt der Nährlösung von 0,5 ppm hemmte das Längenwachstum der Nebenwurzeln 1.Ordnung und unterdrückte die Ausbildung von Nebenwurzeln 2.Ordnung weitgehend. 5,0 ppm SM verhinderten die Neubildung von Wurzelmasse fast völlig, bei 10,0 ppm SM nekrotisierten die Spitzen der Nebenwurzeln 1.Ordnung in der Regel, während die Wurzeln der in Nährlösung mit 100 ppm SM gezogenen Pflanzen sich nach kurzer Zeit gänzlich braun verfärbten und schließlich verschleimten. Morphologische Veränderungen an den Wurzeln, wie sie für die untersuchten Leguminosen beschrieben wurden, traten bei der Sonnenblume nicht auf.

Zu den bisherigen Ausführungen vgl. Tab. 5,6 und Abb. 18, 19a - g, 20.

Bei Sonnenblumen, die erst in einem etwas späteren Entwicklungsstadium in die SM-haltige Nährlösung gebracht worden waren - diese Pflanzen waren 3 Wochen lang in SM-freier Lösung kultiviert worden und erst in SM-Lösung übertragen worden, als die 1.Folgeblätter völlig ausgewachsen waren - wurden die Sproßspitze und die jüngsten Blätter zuerst in Mitleidenschaft gezogen. Ein SM-Gehalt der Lösung von 10,0 ppm bewirkte zunächst ein Chlorotischwerden der Sproßspitze und der Basen der jüngsten (3.) Folgeblätter; nach einer Einwirkungsdauer von ca. 3 Wochen bot sich das in Abb. 21 wiedergegebene Bild: Sproßspitze und Basishälfte der 3.Folgeblätter waren völlig chlorotisch, während die 2.Folgeblätter von der Basis her Chlorosen seitlich der Adern aufwiesen. Die 1.Folgeblätter zeigten keine Symptome. Die in Nährlösung mit 100 ppm SM übertragenen Pflanzen zeigten nach ca. 3 Wochen das in Abb. 22 wiedergegebene Aussehen: Sproßspitze und soeben erscheinende 4.Folgeblätter völlig chlorotisch, 3. und 2.Folgeblätter mit Ausnahme der äußersten Spitzenregion ebenfalls völlig weiß, 1.Folgeblätter mit Chlorosen der unteren Blatthälfte seitlich der Adern, entsprechend den Symptomen an den 2.Folgeblättern der mit 10,0 ppm SM behandelten Pflanzen.

Diese Befunde weisen darauf hin, daß das Antibiotikum von der Pflanze zunächst an die Orte der höchsten Stoffwechselintensität transportiert wird und hier seine, die Chlorophyllsynthese hemmende, Wirkung entfaltet; außerdem findet aber auch eine Zerstörung bereits vorhandenen Chlorophylls statt, was durch das Chlorotischwerden des den Adern benachbarten Gewebes bereits völlig ausgewachsener Blätter eindeutig bewiesen sein dürfte. Der praktisch totale Chlorophyllverlust der - ursprünglich grünen - 2.Folgeblätter der mit 100 ppm SM behandelten Pflanzen ist ein weiterer Beweis für die nicht nur die Chlorophyllsynthese blockierende, sondern auch chlorophyllzerstörende Wirkung des Anti-

biotikums. Für die später zu versuchende, kausalanalytische Deutung der SM-Wirkung dürfte ferner die Beobachtung von Bedeutung sein, daß die 2.Folgeblätter der mit 100 ppm SM behandelten älteren Pflanzen teilweise typische Magnesium-Mangelsymptome (zahlreiche chlorotische Flecken) auf der gesamten Spreite zeigten, bevor nach einigen Tagen völliger Chlorophyllverlust eintrat.

In einer weiteren Versuchsreihe wurden in Komposterde angezogene Sonnenblumenpflanzen wiederholt mit SM-Lösungen verschiedener Konzentrationen besprüht; Pflanzen, die auf diese Weise mit 100 ppm SM behandelt worden waren, zeigten nach relativ kurzer Zeit Chlorosen der jüngsten, noch in der Entwicklung begriffenen, als auch der älteren, schon voll ausgebildeten Folgeblätter; bei letzteren trat im Gegensatz zu den bei einer SM-Zufuhr über die Wurzeln gemachten Beobachtungen die Chlorose zuerst in der Spitzenhälfte in Erscheinung. Auch bei dieser Art der Applikation fand also offenbar bei der besonders SM-empfindlichen Sonnenblume eine Zerstörung bereits vorhandenen Chlorophylls statt.

5. C u c u m i s s a t i v u s .

Die bisher beschriebenen Versuche wurden - mit Ausnahme der Spritzversuche mit Sonnenblumen - sämtlich in Wasserkultur durchgeführt. Im Gegensatz dazu wurden die Gurken auf dreierlei Weise mit SM in Kontakt gebracht: 1. durch Besprühen in Komposterde wachsender Pflanzen mit SM-Lösungen, 2. durch Zusatz des Antibiotikums zur Nährlösung in Wasserkultur, 3. durch Zugabe des Antibiotikums zum Boden in Erdkultur.

Die gespritzten Pflanzen zeigten bei SM-Konzentrationen der Spritzlösungen von 0.1, 1.0 und 10.0 ppm eine eindeutige Förderung des Längenwachstums der Sprosse. Die Pflanzen entwickelten eine größere Zahl von Blättern und Blüten als die Kontrollen. Für die mit 100 ppm SM behandelten Pflanzen lagen die Werte hingegen unter denen für die nur mit destilliertem Wasser + Netzmittel besprühten Vergleichspflanzen (Tab. 7,8).

Während die Kontrollpflanzen in der Achsel des 1.Blattes keine Blüten entwickelten, wurden bei den SM-behandelten Pflanzen, besonders bei einer SM-Konzentration der Spritzlösung von 1,0 ppm, hier bereits nach kurzer Zeit Blütenanlagen, z.T. weibliche, gebildet, die aber nicht zur vollen Entwicklung kamen und bald wieder verkümmerten. Die ursprünglich aufgetauchte Vermutung, man könne evtl. die Pflanzen durch Besprühen mit SM zur Bildung von weiblichen Blüten an Stellen, an denen normalerweise keine oder nur männliche Blüten entstehen, veranlassen, hat sich nicht bestätigen lassen. Eine Beeinflussung der reproduktiven Phase war jedoch insofern festzustellen, als

die SM-behandelten Pflanzen unter den herrschenden Versuchsbedingungen in allen Fällen ca. 5 - 6 Tage früher zur Blüte schritten als die unbehandelten Vergleichspflanzen. Dies steht im Einklang mit den bereits an Pisum sativum gemachten Beobachtungen.

Bei den in Wasserkultur durchgeführten Versuchsreihen war eine merkliche Förderung der vegetativen Entwicklung nicht festzustellen, wofür die Ursache aber wohl in erster Linie in dem erheblich schlechteren und langsameren Wachstum dieser Pflanzen im Vergleich zu den in Erdkultur gezogenen zu suchen ist. Jedoch war auch hier eine Beeinflussung der reproduktiven Entwicklungsphase festzustellen, dergestalt, daß die in Nährlösungen mit 0,01 bis 1,0 ppm SM wachsenden Pflanzen im Gegensatz zu den unbehandelt gelassenen in der Achsel des 1. Folgeblattes Blütenanlagen entwickelten; in einigen Fällen kamen diese Blüten sogar zur vollen Entwicklung und Entfaltung. Die so behandelten Pflanzen blühten in der Regel 5 - 6 Tage früher als die Vergleichspflanzen. Enthielt die Nährlösung 10,0 ppm SM, so kamen kaum noch Blütenanlagen zur Entwicklung. Die Folgeblätter sowie die Kotyledonen waren an der Basis stark chlorotisch (Abb. 23). Die mit 100 ppm und mehr SM behandelten Pflanzen waren bereits wenige Tage nach dem Ansatz völlig vertrocknet.

Die Wurzelentwicklung erwies sich bei den Wasserkulturversuchen als mit steigenden SM-Mengen zunehmend beeinträchtigt. SM-Konzentrationen von 100 ppm und mehr verhinderten eine Neubildung von Wurzelmasse nach Verbringung der Pflanzen in die SM-haltige Lösung gänzlich; die im Zeitpunkt des Ansatzes vorhandenen Wurzeln wurden glasig-durchscheinend und verschleimten schließlich. An den Enden der Nebenwurzeln 1.Ordnung der mit 1,0 ppm SM behandelten Pflanzen traten in einzelnen Fällen, an denen der mit 10,0 ppm SM behandelten häufiger, keulige Verdickungen auf.

Die dritte Versuchsart (Gurkenpflanzen in Erdkultur, mit SM-Lösungen gegossen) erbrachte eine Wachstumsstimulation der mit SM-Gaben von 0.5, 5 und 50 mg je Gefäß behandelten Pflanzen; das Maximum der Förderung lag bei einer SM-Gabe von 50 mg (Tab. 9). Diese Pflanzen entwickelten auch eine größere Anzahl von Blüten, die einige Tage früher zur Entfaltung kamen als die der Vergleichspflanzen. Aus den Blattachseln entwickelten sich mit zunehmendem SM-Gehalt des Kulturmediums in steigendem Maße Achseltriebe. 500 mg SM je Gefäß brachten ca. 50 % der so behandelten Pflanzen unter Welkeerscheinungen zum Absterben und schädigten die überlebenden stark. Das Längenwachstum der Internodien des Hauptsprosses war in hohem Maße gehemmt, während sich die Anzahl der Blätter nicht wesentlich verringerte. Die älteren Blätter waren in der Regel an der Basis stark chlorotisch. Die SM-induzierten Wachstumsstörungen führten zum Auftreten mützenförmiger Deformationen an den Blättern und zum Austreiben von

- vorwiegend weibliche Blüten tragenden - Axillarsprossen aus den Achseln fast sämtlicher Blätter (Abb. 24, Tab. 10). Die mit 500 mg SM je Gefäß behandelte Komposterde strömte gegen Ende der Versuchsperiode einen penetranten, an Phosphorwasserstoff erinnernden Geruch aus, der bisher nicht genau analysiert werden konnte.

6. L a c t u c a s a t i v a .

Auch Kopfsalat wurde durch SM-Zusatz zum Boden im Wachstum beeinflußt, jedoch war eine nennenswerte Steigerung der Produktion nicht erzielbar. Lediglich die Frischgewichte der mit insgesamt 0,5 bis 25 mg SM behandelten Pflanzen lagen über denen der Vergleichspflanzen, die Trockengewichte jedoch durchweg darunter (Tab. 11). Die Wirkung des Antibiotikums äußerte sich in erster Linie in einer Verlängerung der Sproßachse durch gesteigertes Längenwachstum der Internodien; dadurch wurde die Kopfbildung erschwert bzw. bei entsprechend hohen SM-Mengen überhaupt unmöglich gemacht. Daneben bewirkten SM-Mengen bis zu insgesamt 25 mg je Gefäß zwar eine Vergrößerung der Blätter, jedoch war das Gewebe dieser größeren Blätter lockerer als bei den Vergleichspflanzen, woraus ein geringeres Trockengewicht resultierte. Eine SM-Gabe von 50 mg je Gefäß bewirkte neben einer starken Achsenverlängerung auch eine Verkleinerung der Blätter (Abb. 25,26).

7. S p i n a c i a o l e r a c e a .

Die in Erde gezogenen Spinatpflanzen wurden während einer zweiwöchigen Versuchsperiode in 1 - 2-tägigen Abständen mit SM-Lösungen verschiedener Konzentrationen besprüht. Die mit 0,1 bis 10,0 ppm SM behandelten Pflanzen zeigten keine deutlich sichtbaren Wachstumsunterschiede gegenüber den Kontrollpflanzen. Das Frisch- und Trockengewicht war bei den mit 0,1 und 1,0 ppm SM gespritzten Pflanzen etwas erhöht, jedoch waren die Unterschiede gegenüber den Kontrollen nicht besonders signifikant (Tab. 12). 10,0 ppm SM bewirkten bereits eine Beeinträchtigung der Massenproduktion. Behandlung mit 100 ppm SM hatte eine Förderung des Längenwachstums des Sprosses zur Folge; die Pflanzen schossen rasch aus. Die etwas chlorotischen Blätter blieben kleiner als normal.

8. C a l l i s t e p h u s c h i n e n s i s .

Die Pflanzen wurden während einer 50 Tage dauernden Versuchsperiode in 2 - 3-tägigen Abständen mit SM-Lösungen in verschiedenen Konzentrationen besprüht. Eine Beeinflussung des Wachstums war zu keinem Zeitpunkt erkennbar, jedoch zeigten die mit 100 ppm SM behandelten Pflanzen gegen Ende der Versuchsperiode

an den älteren Blättern sämtlich typische Magnesium-Mangelsymptome. In schwächerer Ausprägung traten solche auch an den mit 10,0 ppm SM besprühten Pflanzen auf, während die Vergleichspflanzen sowie die mit 0,1 und 1,0 ppm SM behandelten vollkommen gesund waren. Durch Besprühen der mangelkranken Pflanzen mit 4 %iger Mg^{++}-Lösung ($MgSO_4 \times 7\ H_2O$) konnten die Mangelsymptome innerhalb kurzer Zeit zum Verschwinden gebracht werden.*)

9. Z e a m a y s .

Die Versuche mit Mais wurden in Polystyrolbechern mit Komposterde bzw. Quarzsand als Kulturmedium durchgeführt. Alle Versuchsreihen ergaben eine deutliche Beeinflussung der Pflanzen durch das Antibiotikum.

Ein unter natürlichen Belichtungsverhältnissen vorgenommener Versuch, bei dem die Pflanzen in Komposterde wuchsen und dieser das SM in Teilmengen mit dem Gießwasser zugeführt wurde, ergab eine evidente Stimulation des Längenwachstums, die bei einer SM-Gesamtmenge von 5 mg je Gefäß am stärksten war (Tab.13, Abb. 27). Eine Gesamtmenge von 500 mg je Gefäß bewirkte eine starke Depression des Längenwachstums, aber keine Beeinträchtigung der Massenproduktion, da die Stengel dieser Pflanzen erheblich dicker als die der Kontrollpflanzen bzw. der mit niedrigeren SM-Gaben behandelten Pflanzen waren. Das Trockengewicht dieser Pflanzen weist sogar die höchsten Werte der Versuchsreihe auf (Tab.14).

In einem weiteren Versuch sollte geklärt werden, ob die Wachstumsbeeinflussung durch SM ein anderes Bild zeigt, wenn die festgelegte Gesamtmenge des Antibiotikums nicht in kleinen Dosen über den gesamten Versuchszeitraum verteilt, sondern zu Beginn des Versuchs in zwei Hälften gegeben wird. Es zeigte sich (Tab. 15), daß auch hier eine Wachstumsförderung bei SM-Mengen bis zu 50 mg je Gefäß eintrat, die bei 5 mg das Maximum erreichte, daß aber die Pflanzen in den mit insgesamt 500 mg SM versetzten Gefäßen nach kurzer Zeit zu vertrocknen begannen und schließlich eingingen. Die hohe Anfangskonzentration des Antibiotikums wirkte also auf diese Pflanzen letal. Auch die mit insgesamt 50 mg SM behandelten Versuchspflanzen zeigten am Anfang eine Wachstumsdepression, die aber dann in eine Stimulation umschlug, wahrscheinlich, nachdem ein Teil des SM im Boden adsorptiv gebunden und die toxische Konzentrationsschwelle des

*) Auf einen Zusammenhang zwischen SM und Magnesium innerhalb der Pflanze deutete auch das Ergebnis eines Versuchs mit SM zu Nicotiana alata hin: Die Pflanzen waren in Komposterde angezogen und nach einigen Wochen in SM-haltige Nährlösung übertragen worden. An den Blättern der mit 100 und 200 ppm SM behandelten Pflanzen traten 2 - 3 Wochen nach der Übertragung Chlorosen und Nekrosen der Interkostalfelder in den aderärmsten Gebieten der Blätter auf, die Magnesiummangel vermuten ließen.

freien SM unterschritten worden war.

In beiden Versuchsreihen mit Komposterde als Kulturmedium entwickelte die mit der höchsten SM-Konzentration behandelte Erde einen intensiven, an Phosphorwasserstoff erinnernden Geruch.

Gleichzeitig wurde ein Versuch mit Quarzsand und Nährlösung als Nährsubstrat durchgeführt; die auf ihre Wirkung zu untersuchenden SM-Mengen wurden ebenfalls zu Beginn des Versuchs in zwei Hälften zugesetzt. Lediglich die mit 0,5 mg SM behandelten Pflanzen zeigten eine Wachstumsstimulation, während eine SM-Gabe von 5 mg je Gefäß bereits eine deutliche Beeinträchtigung des Wachstums zur Folge hatte und noch höhere Dosen innerhalb kurzer Zeit letal wirkten (Tab. 16).

10. Tabellen und Abbildungen zum Abschnitt III A.

Tabelle 1 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Pisum sativum "Wunder von Weißenfels" in Wasserkultur durch Zusatz von Streptomycin zur Nährlösung (natürliche Belichtung).
Versuchsdauer: 24.4. - 24.5.1956 = 30 Tage.

SM-Gehalt der Nährlösung	Mittleres Frischgewicht der grünen Pflanzenteile		Mittleres Trockengewicht der grünen Pflanzenteile	
	in g *)	in Relativzahlen	in g *)	in Relativzahlen
0	1,278	(100)	0,276	(100)
0,1 ppm	1,517	118,7	0,326	118,1
0,2 ppm	1,568	122,7	0,336	121,7
0,5 ppm	1,563	122,3	0,337	122,1
1,0 ppm	1,604	125,5	0,356	129,0
2,0 ppm	1,535	120,1	0,339	122,8
5,0 ppm	1,145	89,6	0,223	80,9
10,0 ppm	1,130	88,4	0,196	71,0

*) Mittelwerte aus je 5 gemeinsam gewogenen Pflanzen.

Tabelle 2 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Pisum sativum "Wunder von Weißenfels" in Wasserkultur durch Zusatz von Streptomycin zur Nährlösung (Kunstlicht). Versuchsdauer: 16.1. - 15.5.1956 = 30 Tage.

SM-Gehalt der Nährlösung	Mittl. Frischgewicht der grünen Pfl.teile		Mittl. Trockengewicht der grünen Pfl.teile		Mittl. Frischgewicht der Wurzeln		Mittl. Trockengewicht der Wurzeln	
	in g	in Relativ-zahlen	in mg	in Relativ-zahlen	in g	in Relativ-zahlen	in mg	in Relativ-zahlen
0	0,858 ± 0,019	(100)	98,3 ± 2,9	(100)	0,593 ± 0,022	(100)	35,6 ± 1,4	(100)
0,01 ppm	1,068 ± 0,010	124,4	139,3 ± 2,4	141,7	0,728 ± 0,006	122,6	45,3 ± 0,7	127,3
0,05 ppm	1,104 ± 0,034	128,5	141,1 ± 3,3	143,5	0,770 ± 0,017	129,8	47,2 ± 1,1	132,6
0,1 ppm	1,081 ± 0,012	126,0	130,1 ± 1,8	132,3	0,744 ± 0,009	125,4	43,3 ± 0,2	121,6
0,5 ppm	1,013 ± 0,021	118,1	121,5 ± 3,5	123,6	0,603 ± 0,044	101,7	34,6 ± 1,6	97,2
1,0 ppm	1,159 ± 0,044	135,0	159,5 ± 10,4	162,3	0,528 ± 0,029	88,9	39,5 ± 2,4	110,8
2,0 ppm	1,243 ± 0,019	144,8	170,9 ± 2,6	173,9	0,445 ± 0,017	75,0	33,5 ± 1,0	94,1
5,0 ppm	1,040 ± 0,039	121,2	120,3 ± 7,9	121,0	0,440 ± 0,012	74,2	28,3 ± 0,6	79,5
10,0 ppm	0,928 ± 0,016	108,1	95,9 ± 1,8	97,6	0,393 ± 0,015	66,2	22,6 ± 0,7	63,5
50 ppm	+	-	49,6*)	(50,5)	0,320*)	53,9	15,2*)	42,7
100 ppm	+	-	42,4*)	(43,1)	0,220*)	37,1	9,7*)	27,3

*) Mittelwerte aus je 5 gemeinsam gewogenen Pflanzen.

+ Pflanzen waren bei Versuchsende abgestorben.

Tabelle 3 : Beeinflussung des Längenwachstums des Sprosses von Vicia villosa "Schweigers graubraune" in Wasserkultur durch Zusatz von Streptomycin zur Nährlösung.
Versuchsdauer: 20.7. - 20.8.1956 = 31 Tage.

SM-Gehalt der Nährlösung	Sproßlänge	
	in cm *)	in Relativzahlen
0	28,6 ± 0,38	(100)
0,01 ppm	28,4 ± 0,23	99,3
0,1 ppm	30,8 ± 0,43	107,7
0,5 ppm	31,4 ± 0,33	109,8
1,0 ppm	34,1 ± 0,42	119,2
2,0 ppm	31,6 ± 0,31	110,5
5,0 ppm	27,1 ± 0,26	94,8
10,0 ppm	25,2 ± 0,23	88,1
50,0 ppm	20,4 ± 0,38	71,3
100,0 ppm	20,1 ± 0,26	70,3

*) Sproßlänge bei Ansatz 5 - 6 cm.

Tabelle 4 : Beeinflussung der Sproßlänge von Glycine soja "Bitterhoffs frühe gelbe" in Wasserkultur durch Zusatz von Streptomycin zur Nährlösung.
Versuchsdauer: 17.9. - 15.10.1956 = 28 Tage.

SM-Gehalt der Nährlösung	Sproßlänge	
	in cm *)	in Relativzahlen
0	33,5 ± 0,37	(100)
0,01 ppm	34,3 ± 0,22	102,7
0,1 ppm	33,5 ± 0,58	100,0
1,0 ppm	25,7 ± 0,30	76,7
10,0 ppm	24,0 ± 0,25	71,6
100,0 ppm	12,5 ± 0,08 +)	37,3

+) Pflanzen bei Beendigung des Versuchs abgestorben.

Tabelle 5 : Beeinflussung des Längenwachstums des Sprosses von Helianthus annuus "von Boguslawski 19/39" in Wasserkultur durch Zusatz von Streptomycin zur Nährlösung.
Versuchsdauer: 17.8. - 16.9.1955 = 30 Tage.

SM-Gehalt der Nährlösung	Sproßlänge	
	in cm	in Relativzahlen
0	15,0 ± 0,31	(100)
0,1 ppm	14,0 ± 0,66	93,3
0,5 ppm	12,4 ± 0,12	82,7
1,0 ppm	11,75 ± 0,46	78,3
5,0 ppm	7,6 ± 0,19	50,7
10,0 ppm	+	-
50,0 ppm	+	-

+ Pflanzen bei Versuchsende abgestorben.

Tabelle 6 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Helianthus annuus "von Boguslawski 19/39" in Wasserkultur durch Zusatz von Streptomycin zur Nährlösung.
Versuchsdauer: 17.8. - 16.9.1955 = 30 Tage.

SM-Gehalt der Nährlösung	Mittleres Frischgewicht der grünen Pflanzenteile		Mittleres Frischgewicht der Wurzeln	
	in g *)	in Relativ-zahlen	in g *)	in Relativ-zahlen
0	1,215	(100)	1,573	(100)
0,1 ppm	1,178	96,9	1,608	102,2
0,5 ppm	0,995	81,9	1,513	96,2
1,0 ppm	0,750	61,7	1,003	63,8
5,0 ppm	0,458	37,7	0,583	37,0
10,0 ppm	+	-	(0,240)	(15,3)
50,0 ppm	+	-	- **)	-

*) Mittelwerte aus je 4 gemeinsam gewogenen Pflanzen.

**) Nicht bestimmt, da die Wurzeln abgestorben und verschleimt waren.

+ Pflanzen bei Versuchsende abgestorben.

Tabelle 7 : Beeinflussung des Längenwachstums des Hauptsprosses von Cucumis sativus "Delikatess" durch Besprühen der Pflanzen mit Streptomycin. Versuchsdauer: 22.6. - 3.8.1956 = 42 Tage.

SM-Gehalt der Spritzlösung*)	Sproßlänge		Mittlere Anzahl der Blätter je Pflanze
	in cm	in Relativ-zahlen	
0	39,6 ± 1,8	(100)	9,25
0,1 ppm	48,5 ± 0,7	122,5	11,0
1,0 ppm	47,1 ± 1,8	118,9	11,75
10,0 ppm	43,9 ± 1,5	110,9	11,20
100,0 ppm	34,2 ± 1,4	86,4	9,0

*) Die Lösungen enthielten zusätzlich 0,1 % Hostapon als Netzmittel.

Tabelle 8 : Beeinflussung der Blütenbildung bei Cucumis sativus "Delikatess" durch Besprühen der Pflanzen mit Streptomycin. Versuchsdauer: 22.6. - 3.8.1956 = 42 Tage.

SM-Gehalt der Spritzlösung*)	Mittl. Anzahl der männlichen Blüten je Pflanze	Mittl. Anzahl der weiblichen Blüten je Pflanze
0	44,0	0,25
0,1 ppm	53,0	1,2
1,0 ppm	62,75	0,75
10,0 ppm	53,4	0,8 + (0,6) + 2,2 S
100,0 ppm	44,6	(0,4)

*) Die Lösungen enthielten zusätzlich 0,1 % Hostapon als Netzmittel.

( ) Blüten kamen nicht zur vollen Entwicklung.

S Blüten standen an Seitentrieben.

Tabelle 9 : Beeinflussung der Sproßlänge bei Cucumis sativus "Delikatess" in Erdkultur durch Zusatz von Streptomycin zum Boden (Komposterde).
Versuchsdauer: 3.8. - 19.9.1956 = 47 Tage.

SM-Gabe je Gefäß	Sproßlänge		Mittlere Anzahl der Blätter je Pflanze
	in cm	in Relativ-zahlen	
0	41,0 ± 1,64	(100)	11,0
5 x 10^{-4} g*)	47,67 ± 1,70	116,3	11,17
5 x 10^{-3} g*)	55,75 ± 0,48	136,0	11,75
5 x 10^{-2} g*)	61,8 ± 1,01	150,7	13,25
5 x 10^{-1} g*)	30,8 ± 1,99	75,1	10,0

*) In 10 gleichen Gaben in 3 - 5-tägigen Abständen zugesetzt.

Tabelle 10 : Beeinflussung der Blütenbildung bei Cucumis sativus "Delikatess" durch Zusatz von Streptomycin zum Boden (Komposterde).
Versuchsdauer: 3.8. - 19.9.1956 = 47 Tage.

SM-Gabe je Gefäß	Mittl. Anzahl der männlichen Blüten je Pflanze	Mittl. Anzahl der weiblichen Blüten je Pflanze
0	48,4	0,8 + 0,4 S
5 x 10^{-4} g*)	50,2	1,0 + 3,2 S
5 x 10^{-3} g*)	49,75	2,0 + 2,0 S
5 x 10^{-2} g*)	58,6	1,0 + 3,4 S
5 x 10^{-1} g*)	?	0,67 + (0,67) + 8,34 S

*) in 10 gleichen Gaben in 3 - 5-tägigen Abständen zugesetzt.
( ) Blüten kamen nicht zur vollen Entwicklung.
S Blüten standen an Seitentrieben.

Tabelle 11 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Lactuca sativa "Schreibers Princeps" in Erdkultur durch Zusatz von Streptomycin zum Boden (Komposterde).
Versuchsdauer: 1.2. - 5.4.1956 = 65 Tage.

SM-Gabe je Gefäß*)	Mittleres Frischgewicht der grünen Pflanzenteile		Mittleres Trockengewicht der grünen Pflanzenteile	
	in g	in Relativzahlen	in g	in Relativzahlen
0	15,30 ± 0,39	(100)	1,223 ± 0,05	(100)
5×10^{-4} g	15,92 ± 0,32	104,1	1,003 ± 0,03	82,0
$2,5 \times 10^{-3}$ g	16,36 ± 0,58	106,9	1,149 ± 0,04	93,6
5×10^{-3} g	17,63 ± 0,21	115,2	1,170 ± 0,04	95,7
$2,5 \times 10^{-2}$ g	15,62 ± 0,51	102,1	1,111 ± 0,04	90,8
5×10^{-2} g	13,47 ± 0,85	88,0	0,919 ± 0,06	75,1

*) In 20 gleichen Gaben in 2 - 4-tägigen Abständen zugesetzt.

Tabelle 12 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Spinacia oleracea "Rhenania Hochzucht" durch Besprühen mit Streptomycin.
Versuchsdauer: 4.6. - 18.6.1956 = 14 Tage.

SM-Gehalt der Spritzlösung*)	Mittleres Frischgewicht der grünen Pflanzenteile		Mittleres Trockengewicht der grünen Pflanzenteile	
	in g**)	in Relativzahlen	in g**)	in Relativzahlen
0	3,166	(100)	0,294	(100)
0,1 ppm	3,344	105,6	0,322	109,5
1,0 ppm	3,212	101,6	0,313	106,5
10,0 ppm	2,700	85,3	0,264	89,8
100,0 ppm	2,588	81,7	0,228	77,6

*) Die Lösungen enthielten zusätzlich 0,1 % Hostapon als Netzmittel.

**) Mittelwerte aus je 5 gemeinsam gewogenen Pflanzen.

Tabelle 13 : Beeinflussung des Längenwachstums der Blattscheide von Zea mays "Golden Bantam" in Erdkultur durch Zusatz von Streptomycin zum Boden (Komposterde).
Versuchsdauer: 28.6. - 13.8.1956 = 46 Tage.

SM-Gabe je Gefäß	Länge der Blattscheide	
	in cm	in Relativzahlen
0	12,9 ± 0,3	(100)
5×10^{-4} g*)	16,1 ± 0,3	124,8
5×10^{-3} g*)	19,8 ± 0,4	153,3
5×10^{-2} g*)	15,2 ± 0,3	117,9
5×10^{-1} g*)	10,8 ± 0,3	83,7

*) In 10 gleichen Gaben in 3 - 5-tägigen Abständen zugesetzt.

Tabelle 14 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Zea mays "Golden "Bantam" in Erdkultur durch Zusatz von Streptomycin zum Boden (Komposterde).
Versuchsdauer: 28.6. - 13.8.1956 = 46 Tage.

SM-Gabe je Gefäß *)	Mittleres Frischgewicht der grünen Pflanzenteile		Mittleres Trockengewicht der grünen Pflanzenteile	
	in g	in Relativ-zahlen	in g	in Relativ-zahlen
0	6,87 ± 0,18	(100)	0,93 ± 0,02	(100)
5×10^{-4} g	8,03 ± 0,22	116,9	1,02 ± 0,03	109,7
5×10^{-3} g	8,49 ± 0,23	123,6	1,16 ± 0,02	124,7
5×10^{-2} g	8,61 ± 0,16	125,3	1,19 ± 0,02	128,0
5×10^{-1} g	8,06 ± 0,30	117,3	1,21 ± 0,03	130,1

*) In 10 gleichen Gaben in 3 - 5-tägigen Abständen zugesetzt.

Tabelle 15 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Zea mays "Golden Bantam" durch Zusatz von Streptomycin zum Boden (Komposterde). Versuchsdauer: 29.10. - 11.12.1956 = 43 Tage.

SM-Gabe je Gefäß *)	Mittleres Frischgewicht der grünen Pflanzenteile		Mittleres Trockengewicht der grünen Pflanzenteile	
	in g	in Relativzahlen	in g	in Relativzahlen
0	4,235 ± 0,111	(100)	0,348 ± 0,010	(100)
5×10^{-4} g	5,300 ± 0,463	125,2	0,470 ± 0,034	135,1
5×10^{-3} g	6,610 ± 0,392	156,1	0,550 ± 0,065	158,0
5×10^{-2} g	5,005 ± 0,239	118,2	0,410 ± 0,015	117,8
5×10^{-1} g	+	-	(0,102 ± 0,018)	(29,3)

*) In 2 Gaben zu je 50 % der Gesamtmenge gegeben am 6.11. und 15.11.1956.

\+ Pflanzen bei Versuchsende abgestorben.

Tabelle 16 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Zea mays "Golden Bantam" durch Zusatz von Streptomycin zum Nährmedium (Quarzsand mit Nährlösung).
Versuchsdauer: 29.10. - 11.12.1956 = 43 Tage.

SM-Gabe je Gefäß *)	Mittleres Frischgewicht der grünen Pflanzenteile		Mittleres Trockengewicht der grünen Pflanzenteile	
	in g	in Relativzahlen	in g	in Relativzahlen
0	1,805 ± 0,029	(100)	0,240 ± 0,013	(100)
5×10^{-4} g	2,140 ± 0,075	118,6	0,288 ± 0,011	120,0
5×10^{-3} g	1,280 ± 0,022	70,9	0,163 ± 0,012	72,8
5×10^{-2} g	+	-	(0,067)	(27,9)
5×10^{-1} g	+	-	(0,050)	(20,8)

*) In 2 Gaben zu je 50 % der Gesamtmenge gegeben am 6.11. und 15.11.1956.

\+ Pflanzen bei Versuchsende abgestorben.

Erläuterungen zur Bildtafel I

Abb. 1 : Wachstumsfördernde Wirkung von SM auf Pisum sativum in Wasserkultur. Linke Pflanze unbehandelt, rechte mit 0,1 ppm SM in der Nährlösung; 27 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 7).

Abb. 2 : Wachstumsfördernde Wirkung von SM auf Pisum sativum in Wasserkultur. Linke Pflanze unbehandelt, rechte mit 1,0 ppm SM in der Nährlösung; 27 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 7).

Abb. 3 : Wachstumshemmende Wirkung von SM auf Pisum sativum in Wasserkultur. Linke Pflanze unbehandelt, rechte mit 5,0 ppm SM in der Nährlösung; 27 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 8).

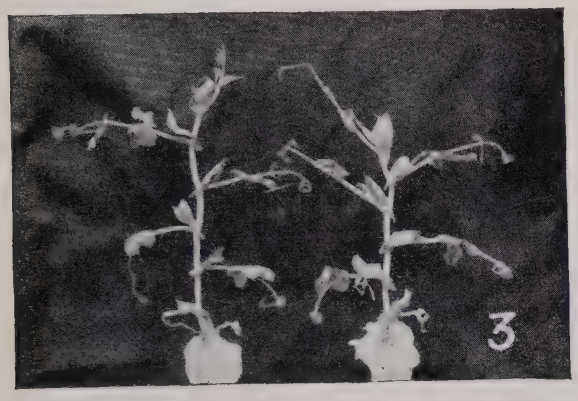
Abb. 4 : Wachstumshemmende Wirkung von SM auf Pisum sativum in Wasserkultur. Linke Pflanze unbehandelt, rechte mit 50 ppm SM in der Nährlösung; 27 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 8).

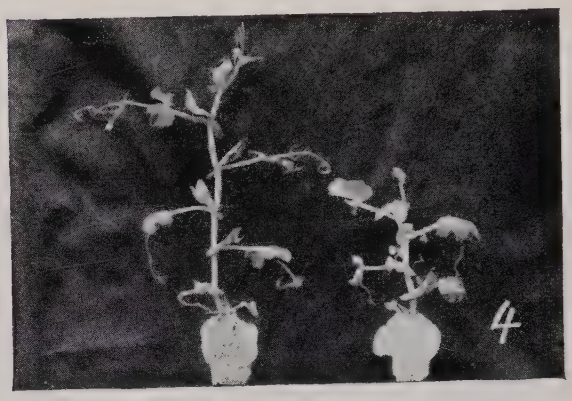
Abb. 5 : Einfluß von SM auf die Wurzelentwicklung von Pisum sativum in Wasserkultur. Von links nach rechts: 0, 0.01, 0.1, 1.0, 10, 100 ppm SM als Zusatz zur Nährlösung; 30 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 8).

Abb. 6 : SM-induzierte Veränderungen an Wurzeln von Pisum sativum in Wasserkultur. Links 5.0, rechts 10.0 ppm SM; 27 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 8).

Abb. 7 : SM-induzierte Veränderungen an Wurzeln von Pisum sativum in Wasserkultur. Links 50, rechts 100 ppm SM; 27 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 8).

Bildtafel I





Erläuterungen zur Bildtafel II

Abb. 8 : Längsschnitt durch den oberen, unveränderten Teil einer Nebenwurzel 1.Ordnung von Pisum sativum, in SM-haltiger Nährlösung (10,0 ppm) kultiviert. Wurzel in Alkohol fixiert und nach KRAUTER (35) gefärbt. Vgl. Text S. 8.

Abb. 9 : Längsschnitt durch die angeschwollene Spitzenregion einer Nebenwurzel 1.Ordnung von Pisum sativum, 27 Tage in SM-haltiger Nährlösung (10,0 ppm) kultiviert. Wurzel in Alkohol fixiert und nach KRAUTER (35) gefärbt. Vgl. Text S. 8.

Abb. 10 : Reaktion SM-behandelter Wurzeln von Pisum sativum auf Rückübertragung in SM-freie Nährlösung. Links 5,0 ppm SM, rechts 10,0 ppm SM; Einwirkungsdauer des Antibiotikums 16 Tage, danach weitere 16 Tage in SM-freier Lösung (vgl. Text S. 9).

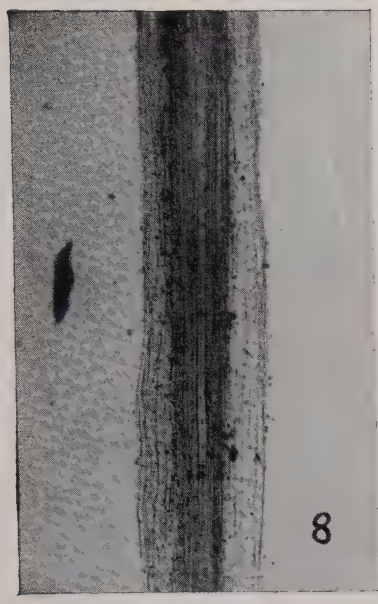
Abb. 11 : wie Abb. 10, Pflanze 16 Tage in Nährlösung mit 5,0 ppm SM, danach 16 Tage in SM-freier Lösung (vgl. Text S. 9).

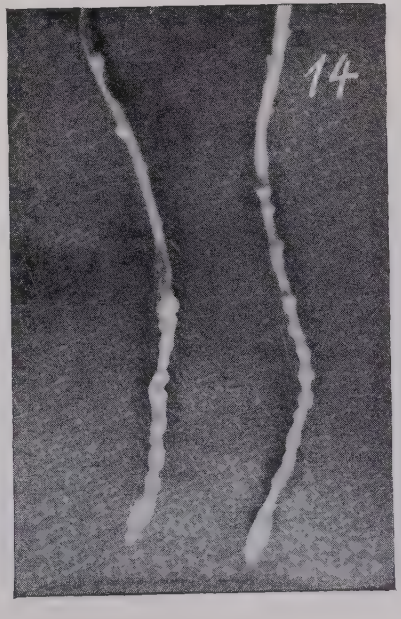
Abb. 12 : SM-induzierte Nekrosen an Blattstielen und Fiederblättchen von Vicia villosa in Wasserkultur. SM-Gehalt der Nährlösung 50 ppm, 48 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 10).

Abb. 13 : Morphologische Veränderungen an den im Wachstum gehemmten Nebenwurzeln von Vicia villosa in SM-haltiger Nährlösung (50 ppm), 26 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 11).

Abb. 14 : Untere Abschnitte der Hauptwurzeln zweier in SM-haltiger Nährlösung (100 ppm) kultivierter Pflanzen von Vicia villosa. Anschwellungen der Wurzelenden und knotige Verdickungen im unteren Wurzelteil. 26 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 11).

Bildtafel II





Erläuterungen zur Bildtafel III

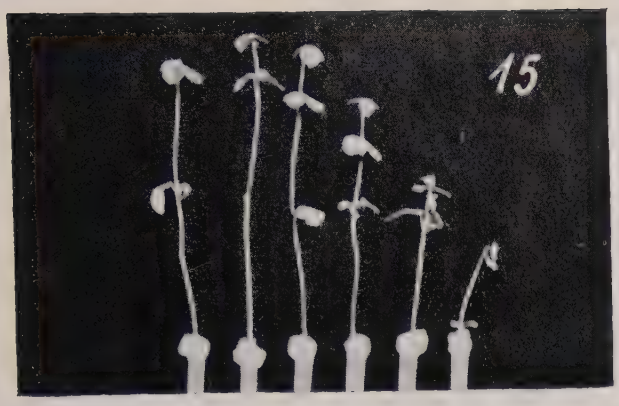
Abb. 15 : Wirkung von SM auf das Längenwachstum von Glycine soja in Wasserkultur. SM-Gehalt der Nährlösung von links nach rechts: 0, 0.01, 0.1, 1.0, 10, 100 ppm. 28 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 11).

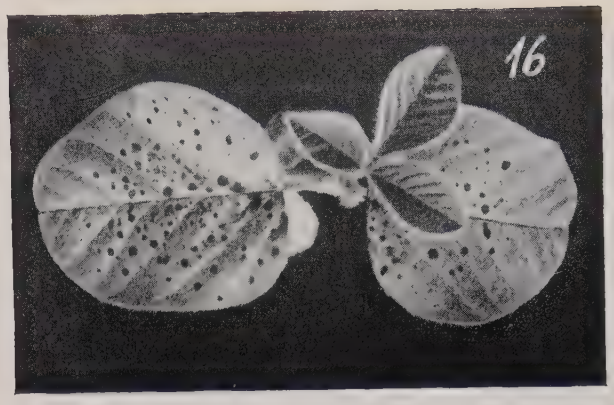
Abb. 16 : SM-induzierte Nekrosen auf den Primärblättern von Glycine soja. SM-Gehalt der Nährlösung 10,0 ppm. 23 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 11).

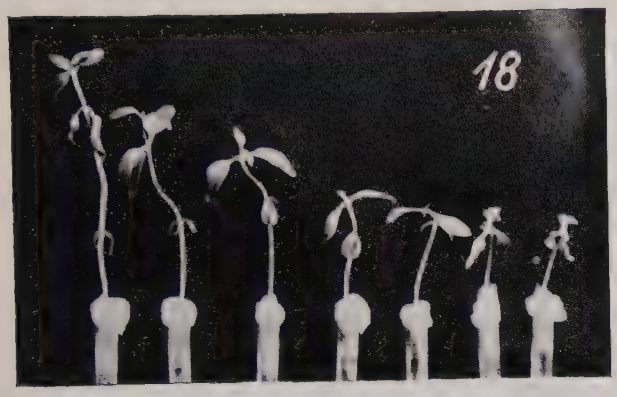
Abb. 17 : wie Abb. 16, 4 Tage später aufgenommen; das linke Primärblatt beginnt von der Basis her zu vertrocknen. Vgl. Text S. 11.

Abb. 18 : Beeinflussung des Wachstums von Helianthus annuus in Wasserkultur durch SM als Zusatz zur Nährlösung. SM-Gehalt der Lösungen von links nach rechts: 0, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, 50, 100 ppm; 26 Tage nach Ansatz (Kunstlicht). Vgl. Text S. 13.

Abb. 19 a – g : Chlorotische Erscheinungen, Wachstumsdepressionen und Veränderungen der Blattform bei Helianthus annuus in Wasserkultur unter dem Einfluß von SM. SM-Gehalt der Nährlösung bei a) 0 ppm, b) 0.5 ppm, c) 1.0 ppm, d) 5.0 ppm, e) 10.0 ppm, f) 50 ppm, g) 100 ppm. Der Abbildungsmaßstab entspricht den natürlichen Größenverhältnissen. 12 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 12/13).


15


16


18

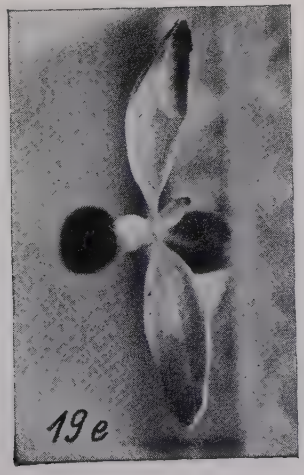
17

19a

19b

19c

19d


19e

19f

19g

Erläuterungen zur Bildtafel IV

Abb. 20 : SM-induzierte Veränderungen der Blattform bei Helianthus annuus in Wasserkultur. 1.Folgeblätter löffel-, 2.Folgeblätter pfriemförmig gestaltet und völlig chlorotisch. SM-Gehalt der Nährlösung 5,0 ppm; 26 Tage nach Ansatz (Kunstlicht). Vgl. Text S. 13.

Abb. 21 : SM-induzierte Chlorosen an den oberen Blättern einer älteren Sonnenblumenpflanze in Wasserkultur. SM-Gehalt der Nährlösung 10,o ppm, Pflanze im Alter von 3 Wochen in die SM-haltige Lösung gebracht. Seitlich der Adern fortschreitende Chlorosen der 2.Folgeblätter, 3.Folgeblätter nur im Spitzenbereich chlorophyllführend. Einwirkungsdauer des SM: 23 Tage (vgl. Text S.14).

Abb. 22 : wie Abb. 21, SM-Gehalt der Lösung 100 ppm. 1.Folgeblätter mit chlorosen an der Basis seitlich der Adern, 2. und 3.Folgeblätter nur noch an den äußersten Spitzen chlorophyllführend, sonst völlig weiß (vgl. Text S. 14).

Abb. 23 : SM-induzierte Chlorosen bei Cucumis sativus in Wasserkultur. SM-Gehalt der Nährlösung 10,0 ppm; 16 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 16).

Abb. 24 : Veränderungen des Habitus bei Cucumis sativus in Erdkultur unter dem Einfluß von SM als Zusatz zum Boden, SM-Gabe insgesamt 0,5 g. Achseltriebe mit vorwiegend weiblichen Blüten, mützenförmige Deformation der Blätter (vgl. Text S. 16/17).

Abb. 25 : Wirkung von SM auf Lactuca sativa in Erdkultur. SM-Zusatz zum Boden links 0, rechts insgesamt 5,0 mg (vgl. Text S. 17).

Abb. 26 : Wirkung von SM auf Lactuca sativa in Erdkultur. SM-Zusatz zum Boden links 0, rechts insgesamt 50 mg (vgl. Text S. 17).

Abb. 27 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Zea mays in Erdkultur durch Zusatz von SM zum Boden. SM-Gaben (insgesamt) je Gefäß von links nach rechts: 0, 0.5, 5.0, 50, 500 mg (vgl. Text S. 18).

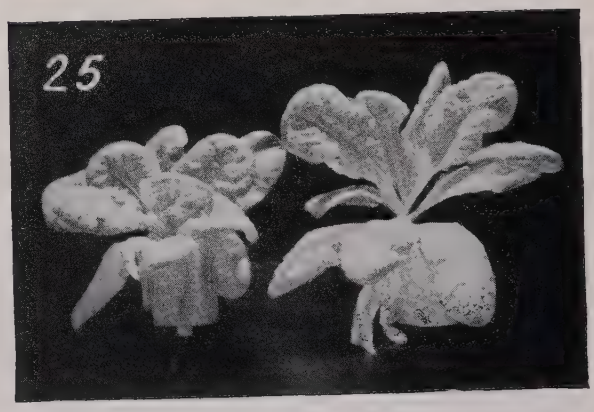
20

23

21

24

22


25

27

26

B. Antagonistische Beeinflussung phytotoxischer Effekte des Streptomycins durch Magnesium- und Mangan-Ionen.

Die bisher beschriebenen Versuchsergebnisse deuten an einigen Stellen auf eine Beeinflussung des Magnesium-Stoffwechsels der Pflanzen durch SM hin. Diese Vermutung gab Anlaß zur Durchführung einer Reihe von Versuchen, bei denen den Pflanzen gleichzeitig mit einer toxischen Dosis an SM eine gegenüber der normalen stark erhöhte Magnesium-Gabe geboten wurde. Die Ergebnisse zeigen, daß durch Erhöhung der Magnesium-Ionen-Konzentration der phytotoxische Effekt des Antibiotikums innerhalb bestimmter Grenzen mehr oder weniger weitgehend aufgehoben werden kann.

Über ähnliche antagonistische Wirkungen gegenüber SM wird von ROSEN (62) und GRAY (29) für Mangan berichtet; daher wurde auch dieses Ion in die Untersuchungen einbezogen und ein antagonistischer Effekt festgestellt, jedoch in weniger weitgehendem Maße als für Magnesium. Beobachtungen über die Abhängigkeit der Wirkung von SM auf Pflanzen vom Magnesium-Gehalt des Kulturmediums sind bisher nicht veröffentlicht worden.

Die nachstehend beschriebenen Versuche wurden sämtlich in Wasserkultur durchgeführt.

1. A v e n a s a t i v a .

Wie die Abbildungen 28 und 29 a,b zeigen, wurden die Pflanzen durch einen SM-Gehalt der Nährlösung von 5 ppm erheblich im Wachstum beeinträchtigt. Bei den meisten der so behandelten Pflanzen starb der primär entwickelte Trieb unter Vertrocknungserscheinungen ab; aus dem unteren Teil dieses Sprosses entwickelten sich in der Regel 1 - 2 Adventivsprosse, die nach einiger Zeit die gleichen Symptome wie der Primärtrieb zeigten. Eine Erhöhung des Magnesium-Gehalts der Nährlösung auf das 10 - 20-fache des normalen (ca. 10^{-2} bzw. 2×10^{-2} Mol gegenüber normal ca. 10^{-3} Mol) bei gleichzeitiger Anwesenheit von 5 ppm SM ließ die Pflanzen sich völlig normal entwickeln. Eine Erhöhung der Mg^{++}-Konzentration auf das 50-fache (ca. 5×10^{-2} Mol) bei sonst unveränderter Zusammensetzung der Nährlösung ergab in Anwesenheit von 5 ppm SM zwar eine Wachstumsdepression, die aber ohne Zweifel auf die nunmehr toxische Wirkung der überhöhten Mg^{++}-Konzentration zurückzuführen war (Abb. 28, 29a,b, 30).

Eine SM-Konzentration von 10 ppm brachte bei normaler Zusammensetzung der Nährlösung die Pflanzen innerhalb kurzer Zeit zum Absterben; Adventivsprosse entwickelten sich nur in Ausnahmefällen. Wurde bei gleichzeitiger Anwesenheit von 10 ppm SM die Mg^{++}-Konzentration auf das 10 - 50-fache der normalen erhöht, so blieben die Pflanzen am Leben und zeigten nur eine relativ geringfügige Wachstumsdepression. Durch eine Erhöhung der Mg^{++}-Dosis auf das 100-fache wurden die Pflanzen beträchtlich geschädigt, jedoch nicht zum Absterben gebracht (Abb. 28, 29a,b, 31).

Hinsichtlich der Wurzelentwicklung trat die antagonistische Wirkung des Magnesiums weniger stark in Erscheinung, jedoch war auch hier ein deutlicher Unterschied festzustellen. Die toxische Wirkung der erhöhten Mg^{++}-Gaben machte sich bei den Wurzeln wesentlich stärker bemerkbar als bei den grünen Pflanzenteilen (Abb. 29c,d).

Für Mangan konnte eine dem Magnesium analoge, antagonistische Wirkung gegenüber SM festgestellt werden. Mangan ist als Spurenelement normalerweise nur in einer Konzentration von ca. 10^{-6} Mol in der hier verwendeten Nährlösung enthalten. Um die durch 5 ppm SM bedingte Wachstumshemmung völlig zu kompensieren, war eine Erhöhung der Mn^{++}-Konzentration auf mindestens das 100-fache der normalen vonnöten.

2. Z e a m a y s .

Versuche mit Mais erbrachten ebenfalls den Beweis für die antagonistische Wirkung von Magnesium- und Mangan-Ionen gegenüber SM. Tab 17 gibt die Beobachtungen bei einem SM-Gehalt der Nährlösung von 5 ppm wieder. Die Wirkung der Metallionen kam hier vorwiegend bei der Wurzelentwicklung zum Ausdruck, wobei eine Erhöhung der Mg^{++}-Gabe auf das 10-fache günstiger wirkte als eine solche der Mn^{++}-Gabe auf das 1000-fache der normalen (Tab. 17, Abb. 32a, 33). Hinsichtlich der Entwicklung der grünen Pflanzenteile ließ sich eine antagonistische Wirkung der Ionen nicht feststellen, da eine SM-Konzentration von 5 ppm das Wachstum derselben während der kurzen Versuchsdauer nicht hemmte, sondern eher eine Stimulation hervorrief.

Ein SM-Gehalt der Nährlösung von 50 ppm schädigte die Pflanzen stark. Eine Erhöhung der Mg^{++}-Konzentration auf das 10-fache der normalen besserte zwar den Zustand etwas, war jedoch nicht annähernd imstande, die toxische Wirkung des SM zu kompensieren; dagegen bewirkte eine Erhöhung der Mn^{++}-Konzentration auf das 1000-fache eine fast völlige Wiederherstellung des normalen Wachstums der grünen Pflanzenteile (Tab. 18). Auch die Wurzeln entwickelten sich unter diesen Bedingungen besser als die in normal zusammengesetzter Lösung mit 50 ppm SM, waren aber noch deutlich geschädigt.

3. H e l i a n t h u s a n n u u s .

Bei diesem Objekt verhinderte die Anwesenheit einer erhöhten Magnesium-Menge innerhalb bestimmter Grenzen das Auftreten sowohl der SM-induzierten Wachstumshemmungen als auch der Chlorosen. Im Konzentrationsbereich bis zu 5 ppm war das Magnesium imstande, die SM-Wirkung weitgehendst zu kompensieren, wozu jedoch eine sehr starke Erhöhung der Mg-Gabe gegenüber der normalen (je nach der vorhandenen SM-Menge bis auf das 50-fache) erforderlich war; wie vergleichende

Untersuchungen in Abwesenheit von SM zeigten, übt das Mg^{++} selbst auch in dieser hohen Konzentration keinen schädigenden Einfluß auf die Entwicklung der grünen Pflanzenteile aus, wohingegen das Wurzelwachstum mit steigender Mg^{++}-Konzentration in der Nährlösung in zunehmendem Maße beeinträchtigt wurde. Ein Magnesium-Gehalt der Nährlösung über 5×10^{-2} Mol bewirkte auch eine Schädigung der grünen Pflanzenteile und führte schließlich zum Absterben der Pflanzen.

Bei höheren SM-Gaben - über 5 ppm - hatte eine Erhöhung der Mg^{++}-Konzentration sowohl eine verzögernde als auch eine abschwächende Wirkung gegenüber den SM-induzierten Schädigungseffekten. Eine restlose Kompensation war jedoch bei SM-Dosen über 5 ppm nicht mehr zu erreichen, da die obere Grenze der Verträglichkeit der Pflanzen für Magnesium bei 5×10^{-2} Mol lag. Diese Konzentration hatte zwar eine deutlich abschwächende Wirkung, vermochte aber die Toxizität des SM nicht völlig aufzuheben. Tab. 19 gibt die Beobachtungen wieder, die bei einer Behandlung von Sonnenblumen mit 5, 10 und 50 ppm SM bei normalem und stufenweise erhöhtem Mg^{++}-Gehalt der Nährlösung gemacht wurden. Abb. 34 zeigt Habitusbilder von Sonnenblumenpflanzen unter dem Einfluß von 10 ppm SM bei normaler und 20-facher Mg^{++}-Gabe.

Die hemmende Wirkung des Antibiotikums auf das Wurzelwachstum konnte mittels einer erhöhten Mg^{++}-Gabe zwar etwas abgeschwächt, jedoch - entsprechend den an Gramineen gemachten Beobachtungen - nicht völlig aufgehoben werden, da sich die Wurzeln gegenüber einer Erhöhung der Mg^{++}-Konzentration wesentlich empfindlicher zeigten als der Sproß, und der wahrscheinlich auch hier vorhandene antagonistische Effekt des Mg-Ions durch seine in überhöhter Konzentration toxische Wirkung überdeckt wurde.

Durch eine Erhöhung der Mangan-Konzentration wurde die Ausbildung der SM-induzierten Chlorosen bei Helianthus annuus nicht beeinflußt; ein Mn^{++}-Gehalt der Nährlösung von 10^{-3} Mol (normal ca. 10^{-6} Mol), der von den Gramineen noch gut vertragen wurde, brachte die Sonnenblumen zum Absterben.

4. G l y c i n e s o j a .

Es wurde schließlich ein Versuch mit Sojabohnen durchgeführt mit dem Ziel, die Frage zu klären, ob die Ausbildung der Nekrosen, die in früher beschriebenen Versuchen infolge eines SM-Zusatzes zur Nährlösung (SM-Konzentration 10 ppm und mehr, vgl. S. 11 und Abb. 16,17), insbesondere an den Primärblättern, aufgetreten waren, durch Variation des Mg^{++}-Gehalts der Lösung zu beeinflussen ist. Es zeigte sich, daß eine Erhöhung des Mg^{++}-Gehalts auf das 10-fache des normalen die Toxizität des SM bereits erheblich abschwächte; nur in

Ausnahmefällen waren Primärblatt-Nekrosen zu beobachten, jedoch traten diese in deutlich schwächerer Ausprägung und erst zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt in Erscheinung als unter dem Einfluß von 10 ppm SM bei normaler Zusammensetzung der Nährlösung. Betrug die Mg^{++}-Konzentration in der Lösung das 20- bzw. 50-fache der normalen, so kamen keine Nekrosen zur Ausbildung; die Pflanzen machten einen durchaus gesunden Eindruck, die Primärblätter waren sattgrün gefärbt, während sie unter dem Einfluß von 10 ppm SM bei normalem Mg^{++}-Gehalt des Kulturmediums bereits vor dem Auftreten der ersten Nekrosen eine gleichmäßige chlorotische Aufhellung zeigten. Eine Erhöhung der Mg^{++}-Dosis auf das 100-fache der normalen bei gleichzeitiger Anwesenheit von 10 ppm SM hatte eine Wachstumsbeeinträchtigung sowie Vergiftungsnekrosen der Blätter infolge der nunmehr toxischen Wirkung der stark überhöhten Mg^{++}-Menge zur Folge.

Über die Wirkung des SM auf das Wurzelwachstum in Abhängigkeit vom Mg^{++}-Gehalt der Nährlösung kann in diesem Falle nichts ausgesagt werden, da sich die Wurzeln der Versuchspflanzen zu ungleichmäßig entwickelten, um exakte Schlüsse ziehen zu können.

Tabelle 17 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Zea mays "Golden Bantam" in Wasserkultur durch Streptomycin bei normalem und erhöhtem Magnesium- bzw. Mangan-Gehalt der Nährlösung.
Versuchsdauer: 16.11. - 2.12.1956 = 16 Tage.

Behandlung	Mittl. Frischgewicht der grünen Pfl.teile		Mittl. Trockengewicht der grünen Pfl.teile		Mittl. Frischgewicht der Wurzeln		Mittl. Trockengewicht der Wurzeln	
	in g*)	in Relativ-zahlen	in g*)	in Relativ-zahlen	in g*)	in Relativ-zahlen	in g*)	in Relativ-zahlen
SM : 0 Nährl. normal	0,745	(100)	0,090	(100)	0,888	(100)	0,066	(100)
SM : 5 ppm = 0,1 mg/20 ml Nährl. normal	0,875	117,4	0,115	127,8	0,470	52,9	0,048	72,7
SM : 5 ppm = 0,1 mg/20 ml Mg-Konz. 10x = ca. 2,5 mg/20 ml	0,823	110,5	0,100	111,1	0,655	73,8	0,060	90,0
SM : 5 ppm = 0,1 mg/20 ml Mn-Konz. 1000 x = ca. 1,08 mg	0,718	96,4	0,094	104,4	0,600	67,6	0,054	81,8

*) Mittelwerte aus je 4 gemeinsam gewogenen Pflanzen.

Tabelle 18 : Beeinflussung der vegetativen Entwicklung von Zea mays "Golden Bantam" in Wasserkultur durch Streptomycin bei normalem und erhöhtem Magnesium- bzw. Mangan-Gehalt der Nährlösung.
Versuchsdauer: 19.11. - 5.12.1956 = 16 Tage.

Behandlung	Mittl. Frischgewicht der grünen Pfl.teile		Mittl. Trockengewicht der grünen Pfl.teile		Mittl. Frischgewicht der Wurzeln		Mittl. Trockengewicht der Wurzeln	
	in g *)	in Relativ-zahlen	in g*)	in Relativ-zahlen	in g*)	in Relativ-zahlen	in g*)	in Relativ-zahlen
SM : 0 Nährl. normal	0,928	(100)	0,103	(100)	0,752	(100)	0,065	(100)
SM : 50 ppm = 1 mg/20 ml Nährl. normal	0,365	39,3	0,061	59,0	0,170	22,0	0,020	30,8
SM : 50 ppm = 1 mg/20 ml Mg-Konz. 10x = ca.2,5 mg/20 ml	0,440	47,4	0,078	75,7	0,195	25,9	0,026	40,0
SM : 50 ppm = 1 mg/20 ml Mn-Konz. 1000x = ca. 1,08 mg	0,888	95,7	0,111	107,8	0,315	41,9	0,038	58,6

*) Mittelwerte aus je 4 gemeinsam gewogenen Pflanzen.

Tabelle 19 : Beeinflussung der Entwicklung der grünen Pflanzenteile von Helianthus annuus "von Boguslawski 19/39" in Wasserkultur durch Zusatz von Streptomycin zur Nährlösung in Abhängigkeit von der Magnesium-Ionen-Konzentration.

Mg^{++}-Gehalt der Nährlösung	SM-Gehalt der Nährlösung		
	5 ppm	10 ppm	50 ppm
10^{-3} Mol = normal	1.Folgeblätter nur an der Spitze chlorophyllführend; 2. Folgeblätter völlig chlorotisch; Epikotyl deutlich chlorotisch; beträchtliche Wachstumsdepression.	1.Folgeblätter nur an der Spitze mit Spuren von Chlorophyll; 2.Folgeblätter völlig chlorotisch; Epikotyl stark chlorotisch; starke Wachstumsdepression.	Pflanzen oberhalb der Kotyledonen stark chlorotisch, Epikotyl und Folgeblätter praktisch chlorophyllfrei; sehr starke Wachstumsdepression.
10^{-2} Mol = 10 x	1.Folgeblätter mit mehr oder weniger großen chlorotischen Bezirken, Spitzenhälfte normal grün; z.T. Wiederergrünung der anfangs chlorotischen Teile von der Basis her. 2.Folgeblätter völlig gesund ! Epikotyl nur schwach chlorotisch; geringe Wachstumsdepression.	1.Folgeblätter nur an der Spitze chlorophyllführend; 2.Folgeblätter mindestens im Spitzendrittel grün; Epikotyl deutlich chlorotisch.	Nicht untersucht.
2×10^{-2} Mol = 20 x	Symptome entsprechen im wesentlichen den bei 10^{-2} Mol beschriebenen.	1.Folgeblätter zumindest im Spitzendrittel grün; 2.Folgeblätter erscheinen gesund.	Nicht untersucht.
5×10^{-2} Mol = 50 x	1.Folgeblätter nur mit schwachen Chlorosen an der Basis. 2.Folgeblätter und Epikotyl normal grün; keine oder nur sehr geringfügige Wachstumsdepression.	1.Folgeblätter nur an der Basis chlorotisch; 2.Folgeblätter gesund in Farbe und Form; Epikotyl normal grün gefärbt, aber etwas schwächer als normal. Nur geringe Wachstumsdepression.	1. und 2.Folgeblätter im Spitzendrittel grün. Epikotyl nur schwach chlorotisch; Wachstum weniger stark beeinträchtigt als bei normalem Magnesium-Gehalt der Nährlösung.

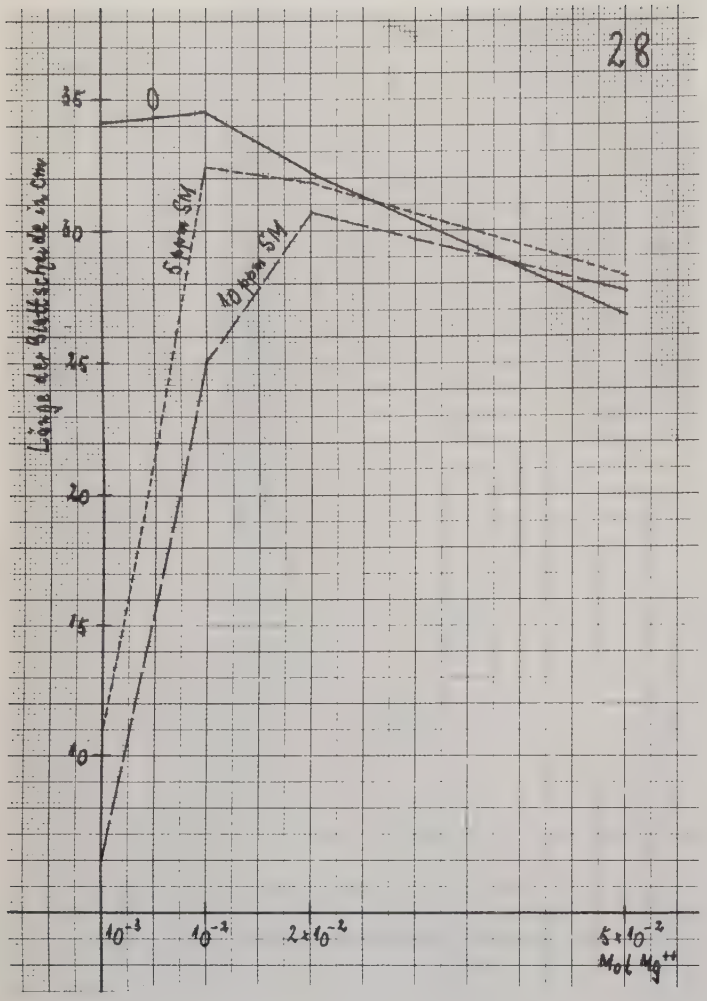
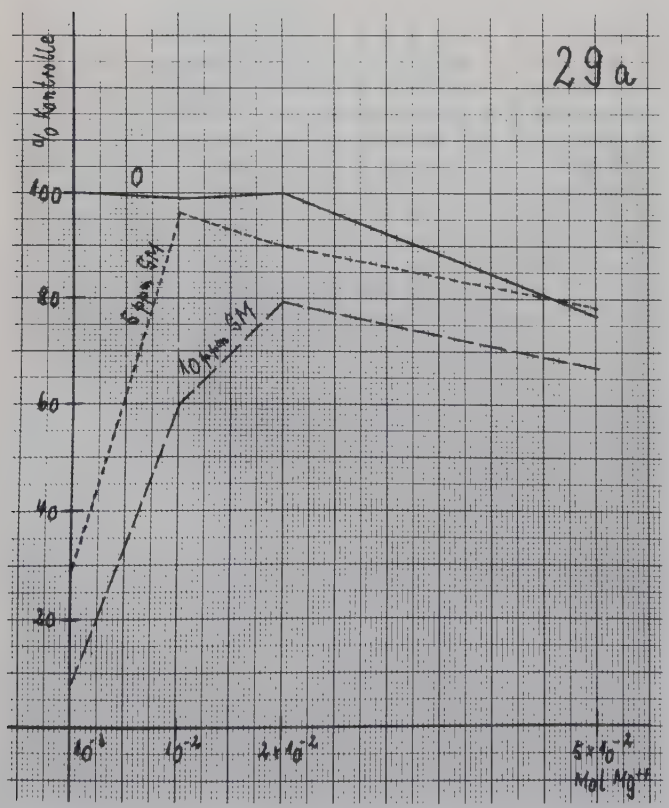
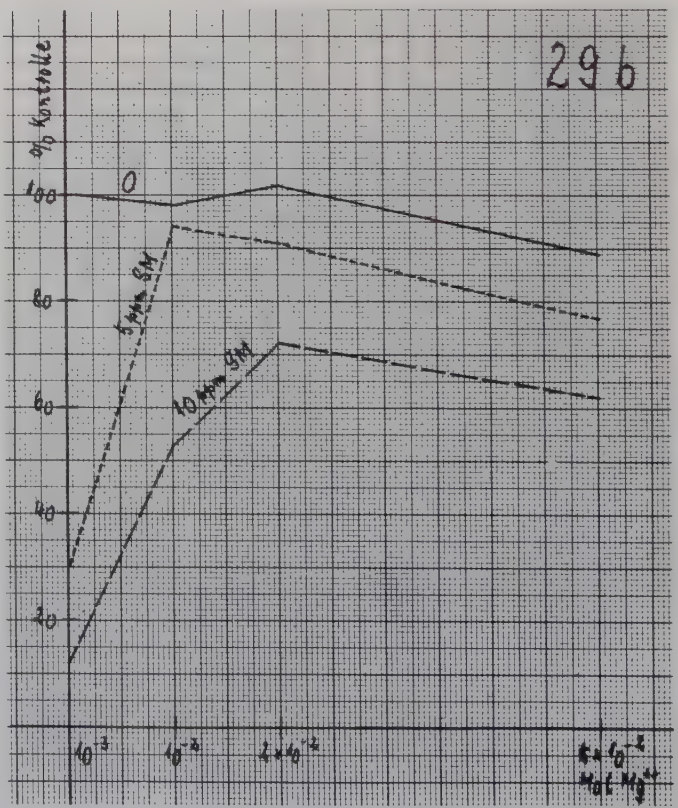


Abb. 28 : Längenwachstum der Blattscheide von Avena sativa "Lohmanns Weender IV Weißhafer" in Wasserkultur unter dem Einfluß von SM in Abhängigkeit vom Magnesium-Gehalt der Nährlösung. Versuchsdauer: 21.3. - 26.4.1957 = 36 Tage.

Abb. 29 a : Beeinflussung der Massenproduktion der grünen Pflanzenteile (Frischgewicht) von Avena sativa "Lohmanns Weender IV Weißhafer" in Wasserkultur durch Streptomycin in Abhängigkeit vom Magnesium-Gehalt der Nährlösung. Versuchsdauer: 21.3. - 26.4.1957 = 36 Tage.

Abb. 29 b : Beeinflussung der Massenproduktion der grünen Pflanzenteile (Trockengewicht) von Avena sativa "Lohmanns Weender IV Weißhafer" in Wasserkultur durch Streptomycin in Abhängigkeit vom Magnesium-Gehalt der Nährlösung. Versuchsdauer: 21.3. - 26.4.1957 = 36 Tage.





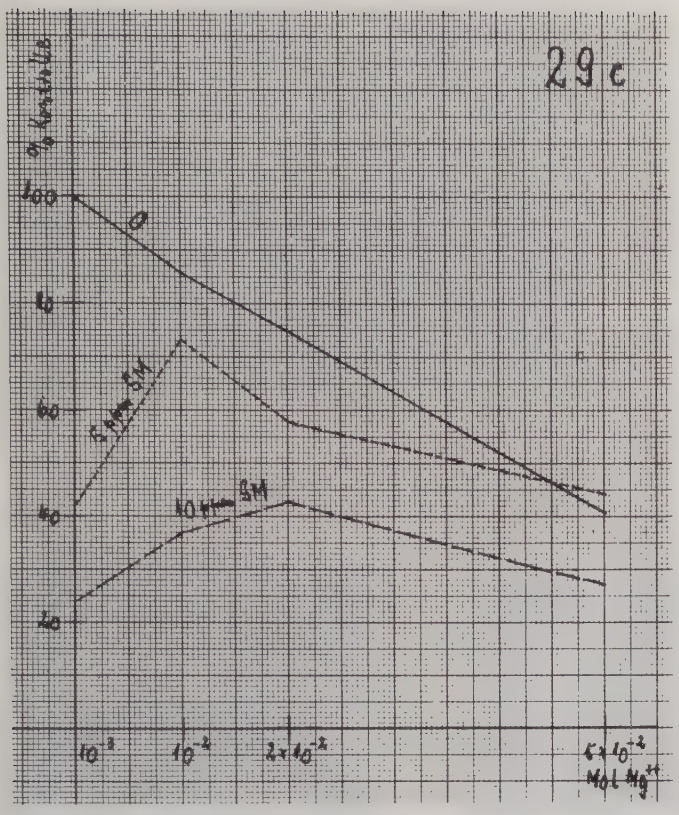


Abb. 29 c : Beeinflussung der Wurzelentwicklung (Frischgewicht) von Avena sativa "Lohmanns Weender IV Weißhafer" in Wasserkultur durch Streptomycin in Abhängigkeit vom Magnesium-Gehalt der Nährlösung.
Versuchsdauer: 21.3. - 26.4.1957 = 36 Tage.

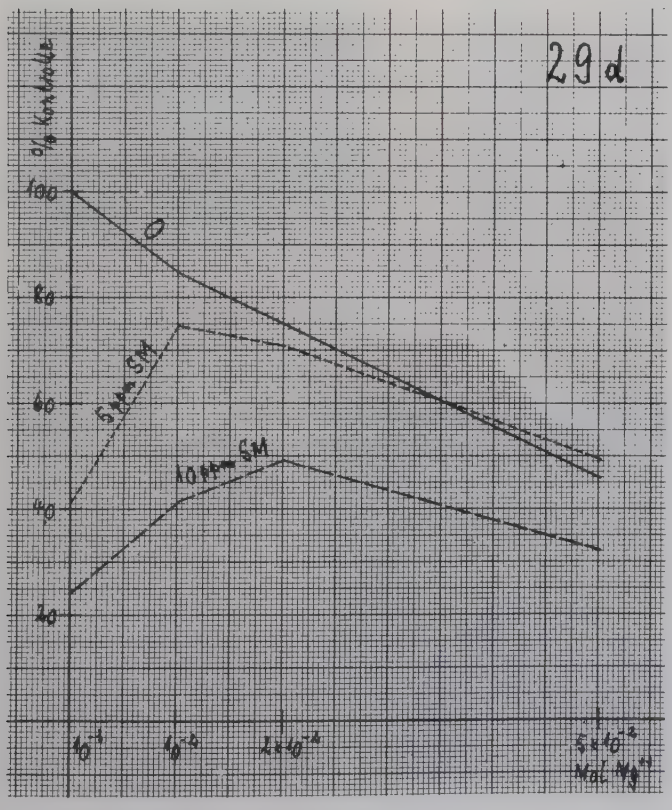


Abb. 29 d : Beeinflussung der Wurzelentwicklung (Trockengewicht) von Avena sativa "Lohmanns Weender IV Weißhafer" in Wasserkultur durch Streptomycin in Abhängigkeit vom Magnesium-Gehalt der Nährlösung.
Versuchsdauer: 21.3. - 26.4.1957 = 36 Tage.

Erläuterungen zur Bildtafel V

Abb. 30 : Wachstum von Avena sativa in Wasserkultur unter dem Einfluß von SM in Abhängigkeit vom Magnesium-Gehalt der Nährlösung. Von links nach rechts:

Unbehandelte Kontrollpflanze, Mg^{++}-Konzentration normal;
Pflanze mit 5,0 ppm SM behandelt, " " " ;
" " " " " " , " 10-fach;
" " " " " " , " 20-fach;
" " " " " " , " 50-fach.

36 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 28).

Abb. 31 : wie Abb. 30, von links nach rechts:

Unbehandelte Kontrollpflanze, Mg^{++}-Konzentration normal;
Pflanze mit 10,0 ppm SM behandelt, " " " ;
" " " " " " , " 20-fach;
" " " " " " , " 50-fach;
" " " " " " , " 100-fach.

33 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 28).

Abb. 32 a, b : Wurzelwachstum von Zea mays in Wasserkultur unter dem Einfluß von SM in Abhängigkeit vom Magnesium-Gehalt der Nährlösung.

a) Von links nach rechts:

Unbehandelte Kontrollpflanze, Mg^{++}-Konzentration normal;
Pflanze mit 5,0 ppm SM behandelt, Mg^{++}-Konzentration normal;
" " " " " " , " 10-fach.

14 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 29).

b) Von links nach rechts:

Unbehandelte Kontrollpflanze, Mg^{++}-Konzentration normal;
Pflanze mit 50 ppm SM behandelt, " normal;
" " " " " " , " 50-fach.

16 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 29).

Abb. 33 : Wurzelwachstum von Zea mays in Wasserkultur unter dem Einfluß von SM in Abhängigkeit vom Mangan-Gehalt der Nährlösung. Von links nach rechts:

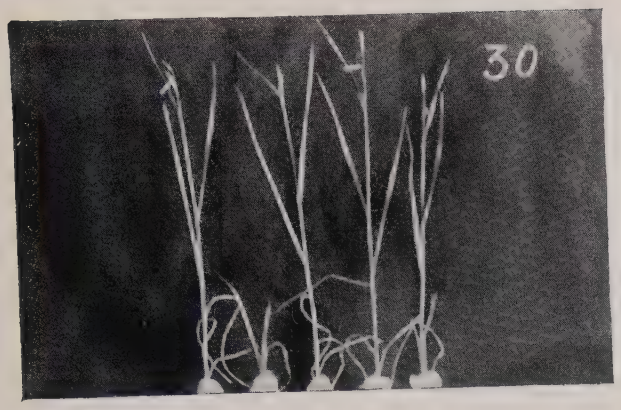
Unbehandelte Kontrollpflanze, Mn^{++}-Konzentration normal;
Pflanze mit 5,0 ppm SM behandelt, Mn^{++}-Konzentration normal;
" " " " " " , " 1000-fach.

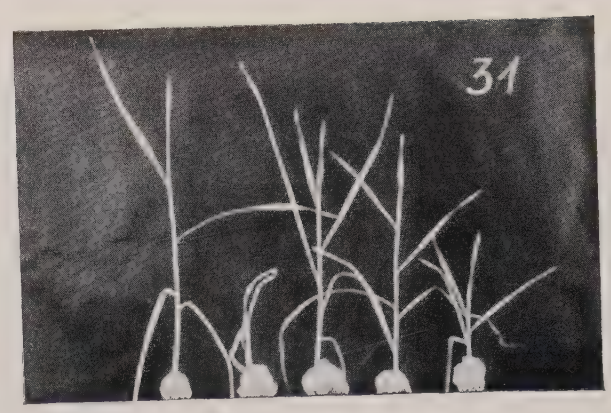
14 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 29).

Abb. 34 : Beeinflussung von Helianthus annuus in Wasserkultur durch SM in Abhängigkeit vom Magnesium-Gehalt der Nährlösung. Von links nach rechts:

Unbehandelte Kontrollpflanze, Mg^{++}-Konzentration normal;
Pflanze mit 10,0 ppm SM behandelt, " "
" " " " " " , " 20-fach.

25 Tage nach Ansatz (vgl. Text S. 30).

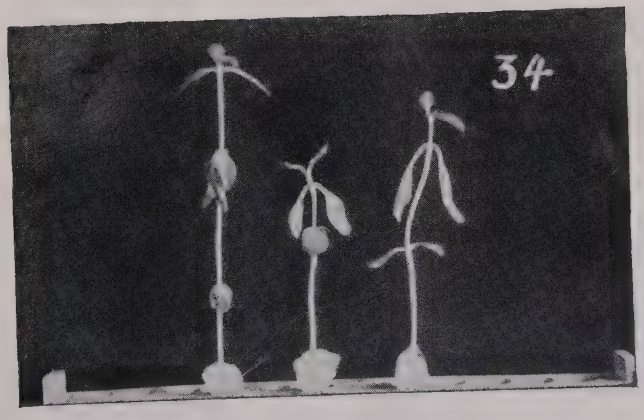

30


31

32a

32b

33


34

IV. Besprechung der Ergebnisse .

Die vorliegende Arbeit hatte zwei Aufgaben: zum ersten sollte zu klären versucht werden, ob durch Anwendung von SM die Anzuchtbedingungen höherer Pflanzen - analog den in der Tierernährung gemachten Erfahrungen - sich verbessern lassen, mit anderen Worten, ob eine evtl. auch in der Praxis verwertbare, günstige Wachstumsbeeinflussung durch das Antibiotikum erfolgt. Diese Aufgabe kann auf Grund der Versuchsergebnisse noch nicht als befriedigend gelöst angesehen werden; zwar wurden bei einigen Pflanzen Wachstumsstimulationen durch SM festgestellt, z. B. bei Erbsen, Gurken und Mais, die die Möglichkeit einer praktischen Anwendung andeuten, jedoch reichen die Ergebnisse bei weitem nicht aus, um eine solche Anwendung bereits jetzt empfehlen zu können. Insbesondere ist zu beachten, daß die Wirkung des SM nicht allein von der Konzentration oder der Art der Applikation, sondern vor allem von der Pflanze selbst abhängt und daß praktisch jede Pflanzenart eine andere Sensibilität dem Antibiotikum gegenüber besitzt. In Bezug auf die praktische Anwendbarkeit, nicht nur des SM, sondern auch anderer Antibiotika, sind umfangreiche weitere Untersuchungen erforderlich, die sich vielleicht in erster Linie auf wertvolle Zierpflanzen erstrecken sollten, da hier vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit aus die Anwendung der teueren Antibiotika sich noch am ehesten empfehlen dürfte.*) Es scheint durchaus im Bereich der Möglichkeit zu liegen, durch Anwendung von Antibiotika im Zierpflanzenbau neben einer Wachstumsförderung gleichzeitig eine Bekämpfung von Krankheiten, insbesondere bakterieller Natur, erzielen zu können. Es dürfte eine lohnende Aufgabe sein, diese Frage in weiteren Untersuchungen einer Klärung zuzuführen. Bezüglich der Anwendung des SM im Pflanzenschutz ergibt sich aus den vorliegenden Befunden die Notwendigkeit, hierbei die gebührende Vorsicht walten zu lassen, um das Auftreten von Phytotoxosen als Folge einer Behandlung der Pflanzen mit zu hohen Dosen des Antibiotikums zu vermeiden.

Die zweite Aufgabe dieser Arbeit bestand darin, der Antwort auf die Frage nach der Art und Weise der Wirkung des SM auf die Pflanze näherzukommen. Hinsichtlich der Ursachen der Wirkung von Antibiotika auf höhere Pflanzen sind von den Autoren der bisher auf diesem Gebiet veröffentlichten Arbeiten

- - - - - - - - - - - - - - - - -

*) Der einschlägigen Industrie wäre der Vorschlag zu machen, zum Zwecke der Anwendung im Pflanzenbau antibiotische Präparate von geringerer Reinheit, als sie für medizinische Zwecke erforderlich ist, herzustellen, die dann erheblich billiger abgegeben werden könnten; die Anwendung ähnlicher Rohpräparate ist in der Viehmast bereits seit längerer Zeit üblich.

meist nur theoretische Überlegungen angestellt worden, soweit man dieser Frage nicht überhaupt aus dem Wege ging und sich auf die Beschreibung der beobachteten Effekte beschränkte. Von EULER und JAARMA (24) vermuteten auf Grund der von ihnen beobachteten Wachstumshemmung an Gerstenwurzeln, daß SM die Zellstreckungshormone angreift und teilweise außer Funktion setzt. Von EULER (22) erklärte die Störung der Chlorophyllsynthese als Folge einer Hemmung eines an der Chlorophyll-, wahrscheinlich bereits der Porphyrinbildung, beteiligten Enzymsystems. BRACCO und von EULER (10,11,12) stellten dann eine fällende Wirkung von SM auf Nukleinsäuren beider Typen, Nukleoproteide und Chloroplastin fest und führten die Hemmung der Chlorophyllsynthese auf eine Fällung des Chloroplastins zurück, ließen aber die Möglichkeit offen, daß die Wirkung auch durch die Beeinflussung von Nukleoproteiden, die am Stoffwechsel der Zellen teilnehmen, bedingt sein könnte.

Eine anonyme Arbeit (3) stellt vier Möglichkeiten für die wachstumsfördernden Eigenschaften der Antibiotika zur Diskussion: 1. könnten Abbauprodukte derselben für die Stimulation verantwortlich sein, 2. könnten die Antibiotika chelatbildende Eigenschaften besitzen, 3. könnten sie eine Entgiftung von Stoffwechselprodukten bewirken und 4. könnten sie eine bessere Ausnutzung von Nährstoffen gewährleisten.

NICKELL und FINLAY (53) stellten ebenfalls eine Reihe theoretischer Möglichkeiten nebeneinander: Wirkung von Abbauprodukten, Chelateffekt, Entgiftung von Stoffwechselprodukten, Beeinflussung der Permeabilität, Inaktivierung von Hemmstoffen, Förderung der Synthese wachstumsbegrenzender Stoffe (Vitamine), Beeinflussung des Hormonstoffwechsels. Die Annahme, daß nicht das Antibiotikum selbst, sondern Abbauprodukte desselben die wirksamen Agentien sein könnten, trifft - zumindest für SM - nach den Untersuchungen von GRAY (29), die die Wirkungslosigkeit von hydrolysiertem SM bewiesen, nicht zu.

Die eigentliche Ursache der Wirkung des Streptomycins auf die Pflanze konnte auch durch die eigenen Versuche noch nicht definitiv geklärt werden; immerhin wurden einige interessante Beobachtungen gemacht, die Anlaß geben, auf dieser Grundlage eine Deutung der Art und Weise der Einwirkung des Antibiotikums auf den Stoffwechsel der Pflanze zu versuchen.

Besonders wichtig für die Entwicklung der nachstehenden Hypothese sind die chlorotischen Erscheinungen und die Anti-SM-Wirkung hoher Magnesium- und Mangan-Mengen. Diese Beobachtungen führen zu der Vermutung einer direkten oder indirekten Einflußnahme des SM auf den Magnesium-Stoffwechsel der Pflanze. Man könnte annehmen, daß das Antibiotikum in der Pflanze und/oder vielleicht schon in der Nährlösung bzw. im Boden mit den Magnesium-Ionen eine relativ

stabile Komplexverbindung eingeht und das Mg^{++} auf diese Weise teilweise oder ganz der Verfügbarkeit seitens der Pflanze entzieht, wodurch die Chlorophyllsynthese infolge Fehlens des Zentralatoms inhibiert würde; die Zerstörung bereits gebildeten Chlorophylls müßte dann durch Entzug des Mg^{++} aus dem Chlorophyllmolekül erfolgen. Andererseits könnte das Antibiotikum ein bei der Chlorophyllsynthese wirksames Fermentsystem blockieren; diese zweite Möglichkeit gibt jedoch keine Erklärung für die bei Helianthus annuus in vivo beobachtete Zerstörung bereits fertig vorliegenden Chlorophylls. Darüber hinaus würde die Annahme einer direkten Wirkung des SM auf das Mg^{++} auch eine Erklärung der allgemeinen Wachstumshemmung unter dem Einfluß höherer SM-Mengen zulassen.

Eine größere Anzahl von Fermenten bedarf zu ihrer Tätigkeit der Anwesenheit von Mg-Ionen, wobei es sich in erster Linie um die für den Ablauf der Dissimilationsvorgänge wichtigen Fermente handelt. So bedürfen z. B. die Fermente Hexokinase, Fructokinase, Phosphoglucomutase, 6-Phosphofructokinase, 3-Phosphoglycerinsäurekinase, Phosphoglyceromutase, Enolase, Brenztraubensäurekinase und Karboxylase *) zur Entfaltung ihrer Wirksamkeit der Anwesenheit von Mg-Ionen (49). Ein Teil der genannten Fermente kann außer durch Mg^{++} auch durch Mn^{++} oder andere zweiwertige Metallionen, wie z. B. Zn^{++} oder Co^{++}, aktiviert werden.

Nimmt man nun an, daß das Magnesium durch SM in später noch zu erörternder Weise in mehr oder weniger starkem Ausmaß gebunden und so dem Stoffwechsel entzogen wird, so ist die Tätigkeit dieser Fermente, soweit ihre Aktivierung nicht auch durch andere Ionen erfolgen kann, die aber in der Regel nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen dürften, mehr oder weniger stark gehemmt und die durch diese Fermente katalysierten Reaktionen des Stoffwechsels können nicht oder nur in vermindertem Umfange ablaufen. Neben der Atmung dürften auch die Assimilationsvorgänge mehr oder weniger weitgehend gestört sein, einmal bedingt durch das Defizit an Chlorophyll, soweit Chlorosen auftreten, zum anderen eben durch die Inhibition der Fermente, denen beim Aufbau der Kohlenhydrate sicherlich die gleiche Aufgabe wie beim Abbau derselben zufällt. Die bei einigen Versuchsobjekten aufgetretenen Nekrosen wären dann als Gewebevergiftungen infolge Anhäufung von Stoffwechselprodukten, die wegen der Inhibition der Fermenttätigkeit nicht weiterverarbeitet werden können, zu deuten. Daß es unter der Einwirkung von Antibiotika zur Anhäufung

- - - - - - - - - - - -

*) Diese Aufstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit; es wurden nur diejenigen Fermente genannt, für die auf Grund der Angaben in der Literatur die Notwendigkeit des Vorhandenseins von Mg-Ionen zur Entfaltung der katalytischen Wirkung als einwandfrei gesichert angesehen werden kann.

von Stoffwechselprodukten kommen kann, wurde von HAVINGA et al. (32) an der Alge Scenedesmus gezeigt, die auf Behandlung mit Aureomycin und Terramycin mit einer abnormen Erhöhung des Zuckergehaltes reagierte. Es besteht jedoch noch eine andere Erklärungsmöglichkeit für das Auftreten der Nekrosen, auf die weiter unten eingegangen werden soll.

Die Beobachtung, daß die wachstumshemmende Wirkung des SM bei Gramineen durch eine Erhöhung der Mangan-Konzentration ganz oder teilweise kompensiert werden konnte, erklärt sich unter der Voraussetzung der Richtigkeit der vorstehenden Hypothese dadurch, daß jetzt das Mangan-Ion als Fermentaktivator an die Stelle des durch SM gebundenen Magnesiums tritt. Es wäre allerdings auch denkbar, daß das Mn^{++} das Mg^{++} aus dem angenommenen Komplex verdrängt und das Magnesium auf diese Weise dem Stoffwechsel wieder zur Verfügung gestellt wird; gegen diese Annahme spricht aber die Beobachtung, daß die Ausbildung der als Folge einer Behandlung mit SM auftretenden Chlorosen bei Helianthus annuus durch eine Erhöhung der Mn^{++}-Konzentration nicht beeinflußt werden konnte.

Die von SCHOPFER et al. (68,69) beobachtete Hemmung der Karotinoidsynthese durch SM würde sich durch die Annahme einer Blockierung der Mg^{++}-haltigen Fermentsysteme ebenfalls erklären lassen: Nach den Untersuchungen von BEEKMANN (5) liegt die Abzweigungsstelle der Karotinoide aus dem Kohlenhydratstoffwechsel bei Umsätzen, die im Verlaufe des Abbaues der Zitronensäure zu Bernsteinsäure stattfinden. Eine Inhibition der bei den Dissimilationsvorgängen wirksamen Fermente muß zwangsläufig auch den Ablauf des Krebszyklus - zumindest quantitativ - beeinflussen, woraus sich die Hemmung der Karotinoidsynthese erklären ließe.

Die Wirkung des SM auf den Stoffwechsel der pflanzlichen Zelle würde sich am zwanglosesten durch die Annahme eines Chelateffektes erklären.

Chelate sind Komplexverbindungen besonderer Art, die entstehen, wenn Metallionen mit Molekülen einer organischen Substanz, des sog. Chelatbildners, reagieren, wobei das Metall nicht nur durch Ionenbindung, sondern auch durch koordinative Valenzen fixiert wird; die Metallchelate sind somit zyklische Komplexverbindungen, bei denen das Metallion an der Ringbildung beteiligt ist. Ihren besonderen Eigenschaften verdanken diese Verbindungen ihre große biologische Bedeutung. Nach DEUEL (19) muß angenommen werden, daß die lebenswichtigen Metallionen im Organismus koordinativ an Eiweißstoffe, Pyrrolverbindungen, Phosphorsäureester und andere Substanzen gebunden und erst in dieser Form - als Chelate - imstande sind, ihre spezifischen Wirkungen auszuüben. Nach CHRISTENSEN (18) spielt Pyridoxal eine wichtige Rolle beim Transport der Alkalimetalle im Organismus, indem es mit diesen Chelate bildet. Weitere Metallchelate von hoher biologischer Bedeutung sind z. B. Chlorophyll, Hämin und die eisenhaltigen Atmungsfermente.

Die Wirkung des SM im pflanzlichen Organismus wäre danach ähnlich der des Lycomarasmins zu verstehen, eines Stoffwechselproduktes des Pilzes Fusarium ly-

copersici, des Erregers der Tomatenwelke, für das von GÄUMANN et al. (26,27, 50) nachgewiesen wurde, daß es infolge seiner chelierenden Eigenschaften speziell den Eisenstoffwechsel von Tomatenpflanzen stört. Für SM müßte auf Grund der Beobachtungen über eine antagonistische Wirkung des Magnesiums eine spezifisch gegen dieses Ion gerichtete, chelierende Wirkung angenommen werden, obwohl nach der MELLOR-MALEYschen Stabilitätsreihe*) die zyklischen Metallkomplexe mit Magnesium die geringste Stabilität besitzen; jedoch ist für bestimmte Chelatbildner Selektivität für bestimmte Metallionen beobachtet worden. **)

Daß auch bestimmte Antibiotika als Chelatbildner wirken und ihre antibiotischen Eigenschaften auf dieser Fähigkeit beruhen, konnte von ALBERT (1), SAZ und SLIE (64) und WEINBERG (74) für Terramycin und Aureomycin wahrscheinlich gemacht werden. Auch das als Antiseptikum verwendete Oxin = 8-Oxychinolin wirkt dadurch auf Mikroorganismen toxisch, daß es ihnen lebenswichtige Metallionen durch Chelierung derselben entzieht - ZENTMYER (80) - und die gebildeten Metallchelate ihrerseits innerhalb des Organismus offenbar recht komplexe und im einzelnen schwer durchschaubare Reaktionen nach sich ziehen - BLOCK (9). Eine große Anzahl anderer Verbindungen wirken in gleicher Weise oder ähnlich - DEUEL (19), SCHOLZ (67).

Andererseits besitzen, wie HEATH und CLARK (33) nachgwiesen haben, eine ganze Reihe von Chelatbildnern, so z. B. die auch in praxi zum Zwecke der Heilung von Eisenmangelkrankheiten auf stark Fe-festlegenden Böden wachsender Pflanzen verwendete Äthylendiamintetraessigsäure (EDTA), Wuchsstoffcharakter. EDTA zeigte in einer Konzentration von 10^{-5} Mol die gleiche fördernde Wirkung wie IES in gleicher Konzentration. Auch das als Schwermetallenzym-In-

- - - - - - - - - - - - - - - - -

*) Nach MELLOR und MALEY (44,45) steigt die Stabilität der Metallchelate in Abhängigkeit von dem beteiligten Metallion in der Reihenfolge Mg < Mn < Fe < Cd < Zn < Co < Ni < Cu an.

**) Das beste Beispiel für die hohe Stabilität eines Metallchelates, an dessen Zusammensetzung das Magnesium beteiligt ist, stellt m. E. das Chlorophyll dar. Wäre die Stabilität dieses Metallchelates so gering, wie es nach der MELLOR-MALEYschen Reihe der Fall sein sollte, so müßte das Mg-Ion von den in diesem Falle als Chelatbildner anzusehenden Phaeophytinen durch in der Pflanze ständig vorhandene, stärker komplexbildende Metallionen verdrängt und durch diese ersetzt werden, d.h. das Chlorophyll dürfte in dem Milieu des pflanzlichen Organismus nur sehr beschränkte Zeit existent sein. Es mag sein, daß die Ursache des am Ende der Vegetationsperiode eintretenden Chlorophyllabbaues in derartigen Verdrängungsreaktionen, bewirkt durch an anderen Stellen der Zelle freiwerdende, stärker komplexbildende Schwermetallionen, begründet ist. Jedenfalls ist die Stabilität des Phaeophytin-Magnesium-Komplexes groß genug, um die photosynthetische Tätigkeit während der Vegetationsperiode zu gewährleisten.

hibitor bekannte Na-diäthyldithiocarbamat (DIECA) wirkte in entsprechend niedrigen Konzentrationen als Wuchsstoff. Die Autoren vermuten, daß die Wuchsstoffwirkung der IES ebenfalls auf einer Chelatwirkung beruht, obwohl eine solche bisher nicht nachgewiesen werden konnte.

Auf Grund der eigenen Versuchsergebnisse und der vorstehenden Ausführungen wäre die Wirkung des SM auf die Pflanze folgendermaßen vorstellbar: Das Antibiotikum besitzt primär gegen das Mg-Ion*) gerichtete, chelatbildende Eigenschaften. Niedrige SM-Konzentrationen wirken auf bestimmte Pflanzen günstig, da das Metallchelat die Aufnahme und den Transport des Magnesiums befördert; in diesem Konzentrationsbereich kommt eine schädigende Wirkung durch Entzug von Ferment-Magnesium wahrscheinlich nicht in Betracht, da zunächst die in der Nährlösung bzw. im Boden und im Plasma in ungebundener Form vorliegenden Mg-Ionen cheliert werden dürften. Mit steigender SM-Menge greift dann die Chelatwirkung in zunehmendem Maße auch auf die an enzymatischen Prozessen beteiligten Mg-Ionen über - der stimulierende Effekt wird von einem schädigenden überlagert, was nach außen hin in einer Wachstumshemmung in Erscheinung tritt. Außerdem wird jetzt die Chlorophyllsynthese inhibiert, sei es durch direkten Entzug des Magnesiums, sei es durch Hemmung eines für die Chlorophyllbildung notwendigen Fermentsystems. Schließlich kann es, wie die an Helianthus annuus gemachten Beobachtungen beweisen, sogar zu einer Zerstörung bereits fertig vorliegenden Chlorophylls kommen. Die an Vicia villosa und Glycine soja beobachteten Nekrosen könnten, wie bereits oben ausgeführt, Gewebevergiftungen infolge Anhäufung von Intermediärprodukten des Stoffwechsels darstellen, es wäre jedoch auch denkbar, daß es durch plötzlichen Zerfall einer großen Anzahl von Molekülen des SM-Mg-Chelats an diesen Stellen zu einer momentanen Überschwemmung des Gewebes mit einer unphysiologischen Menge von Mg-Ionen und infolgedessen zur Plasmakoagulation kommt. Ein derartiges Verhalten eines Metallchelats konnte von GÄUMANN und NAEF-ROTH (50) für den - photosensiblen - Lycomarasmin-Eisen-Komplex nachgewiesen werden. Durch Erhöhung der der Pflanze zur Verfügung gestellten Menge an Mg^{++} über das Chelierungspotential der vorhandenen SM-Menge hinaus wird der Organismus in die Lage versetzt, die Mg^{++}-gesteuerten Stoffwechselprozesse zu reaktivieren; daß eine entsprechende Wirkung auch durch Erhöhung der Mn^{++}-Gabe erzielt werden kann, deutet, wie bereits oben ausgeführt, darauf hin, daß die SM-induzierte

- - - - - - - - - - - -

*) Das Magnesium hat im Stoffwechsel der Pflanze drei verschiedene Aufgaben zu erfüllen: 1. sind freie Ionen für den Quellungszustand des Plasmas mitverantwortlich, 2. ist eine weitgehende Mitwirkung des Magnesiums an Fermentreaktionen nachgewiesen, 3. ist das Element als Zentralatom des Chlorophylls von entscheidender Bedeutung für die Photosynthese.

Wachstumshemmung hauptsächlich auf einer Inaktivierung derjenigen Fermente beruht, die außer durch Mg- auch durch Mn-Ionen aktiviert werden können; wenn es sich um eine Verdrängung des Mg^{++} im Sinne der MELLOR-MALEYschen Reihe handelte, wie man zunächst annehmen könnte, müßte auch die Hemmung der Chlorophyllsynthese durch erhöhte Mn^{++}-Zufuhr in gegenläufigem Sinne zu beeinflussen sein, was jedoch nach den Beobachtungen an Helianthus annuus nicht der Fall ist.

Es ist klar, daß die vorstehend entwickelte Erklärungsmöglichkeit nicht mehr als eine grobe und angesichts der Kompliziertheit der Stoffwechselprozesse wahrscheinlich nur oberflächliche Arbeitshypothese sein kann, die weiterer experimenteller Nachprüfung bedarf und auf Grund späterer Untersuchungsergebnisse vielleicht in manchen Punkten einer Revision bzw. Erweiterung unterzogen werden muß.

Es muß insbesondere die Frage offenbleiben, ob der angenommene Chelateffekt die einzige Wirkung ist, die das SM im pflanzlichen Organismus entfaltet und ob sich alle bisher beobachteten Reaktionen hierauf zurückführen lassen. Dies ist auf Grund einiger Arbeiten zumindest als fraglich anzusehen. Nach BRACCO und von EULER (11,12) werden Nukleinsäuren beider Typen sowie Nukleoproteide und Chloroplastin durch SM ausgefällt. Durch Zugabe von Ribonukleinsäure konnte sowohl die Anti-Chlorophyllwirkung des SM als auch die Hemmung des Wurzelwachstums verschiedener Keimpflanzen z. T. aufgehoben werden - von EULER (22), von EULER und JAARMA (24). Auch nach COHEN (16) zeigt SM in vitro eine starke Affinität zu Nukleinsäuren. Von GROS et al. (30) wird angegeben, daß SM bei Clostridium sporogenes den Stoffwechsel der Nukleinsäuren stört. Die Beobachtungen von WILSON (75) und WILSON und BOWEN (76) über eine mitoklastische Wirkung von SM auf meristematische Zellen der Wurzeln von Allium cepa weisen gleichfalls auf eine gegen die Nukleinsäuren bzw. Nukleoproteide gerichtete Wirkung des Antibiotikums hin.

Daß ein und derselbe Stoff innerhalb des Organismus verschiedenartige Wirkungen entfalten kann, zeigt das Beispiel der Chinone, von denen einige, z. B. Fumigatin, ebenfalls als Antibiotika bekannt sind. Chinone sind einerseits sehr starke Fermentgifte (Chelatbildner), verändern aber gleichzeitig auch die Struktur der Proteine, ohne daß bisher entschieden werden konnte, welchem Effekt die Hauptrolle bei der hier ebenfalls auftretenden Mitosehemmung zuzuschreiben ist. Andererseits wird für die sog. Vesikanzien (Senföle), die nach GILMAN und PHILIPS (28) z. T. starke antimitotische Eigenschaften besitzen, von DIXON und NEEDHAM (20) angegeben, daß sie alle eine starke Hemmwirkung auf die Hexokinase ausüben. Ein Hinweis auf hier möglicherweise bestehende Zusammenhänge ist vielleicht darin zu sehen, daß für die an den Kernteilungsprozessen beteiligte Desoxyribonuklease die akti-

vierende Wirkung von Mg- und Mn-Ionen nachgewiesen worden ist - MYRBÄCK (49).

Auf eine Erörterung der Frage, wie die an Pisum sativum und Cucumis sativus beobachtete Beeinflussung der Blütenbildung durch SM zu erklären sein könnte, soll hier verzichtet werden, da die Blühinduktion einen außerordentlich komplexen, eng mit dem Wuchsstoffproblem verknüpften Vorgang darstellt, dessen mögliche Beeinflussung durch SM nur unbefriedigende theoretische Überlegungen zuließe.

Desgleichen kann eine Erklärung für das Auftreten von Riesenzellen im Rindenparenchym von Leguminosenwurzeln derzeit nicht gegeben werden. Möglicherweise handelt es sich um eine Polyploidisierung, wie sie nach Wurzelbehandlung mit verschiedenen anderen Stoffen wiederholt beobachtet wurde. So zeigte PETERS (56) ein Tetraploidwerden meristematischer Wurzelzellen von Allium cepa unter dem Einfluß von Sulfanilamid; BRUHIN (14) beschreibt die polyploidisierende Wirkung des Samenbeizmittels Agrimax M = Phenyl-Hg-dinaphthylmethandisulfonat auf Keimwurzeln von Crepis capillaris. In Versuchen von BHATTACHARYJA und LINSKENS (7) wirkten die Insektizide Systox, Metasystox und Pestox in Konzentrationen bis zu 0,01 % toxisch auf den Spindelmechanismus in Kernen des Wurzelmeristems von Vicia faba. POLLOCK et al. (57) erhielten an Weizenwurzeln nach Behandlung mit Cumarin und Scopoletin Anschwellungen der Spitzenregion bei gleichzeitiger Vergrößerung und Formveränderung der Rindenparenchymzellen, ähnlich wie es in den eigenen Versuchen an Wurzeln SM-behandelter Leguminosen, jedoch niemals an Gramineenwurzeln, festgestellt wurde. Nach RÜDIGER (63) bewirkt U 46 = Na-2,4-dichlorphenoxyacetat eine kugelige Aufblähung der Keimwurzel von Linum sativum infolge Zellvergrößerung. Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, daß Stoffe sehr unterschiedlicher chemischer Konstitution gleiche oder doch sehr ähnliche Wirkungen im Organismus entfalten können. Es dürfte sehr schwierig sein, das gemeinsame Grundprinzip dieser Effekte herauszuarbeiten.

Aus den vorstehenden Ausführungen geht hervor, daß die Frage nach der Wirkung des Streptomycins und darüber hinaus aller anderen Antibiotika auf den pflanzlichen Organismus von ihrer endgültigen Beantwortung noch weit entfernt ist; weitere Untersuchungen erscheinen daher lohnend und wünschenswert.

V. Zusammenfassung .

Verschiedene Kulturpflanzen wurden hinsichtlich ihrer Reaktion auf eine Behandlung mit dem Antibiotikum Streptomycin untersucht. Die Art der Reaktion erwies sich als sowohl von der Konzentration des SM als auch von der Applikationsweise bzw. die durch verschiedene Arten der Applikation bedingte unterschiedliche

Konzentration im Gewebe, insbesondere aber auch von der Art der Pflanze abhängig:

1. Bei Pisum sativum und Vicia villosa in Wasserkultur sowie bei Cucumis sativus, Lactuca sativa und Zea mays in Erdkultur bewirkte ein Zusatz geringer Mengen des SM zum Kulturmedium eine Stimulation des Längenwachstums. Bei Pisum und Cucumis übte das Antibiotikum einen fördernden Einfluß auf die Blütenbildung aus. Höhere SM-Dosen hatten eine Hemmung des Wachstums und bei entsprechend hoher Konzentration ein Absterben der Pflanzen zur Folge. Die Schädigung war bei Pisum von Chlorosen, bei Vicia von eigentümlichen Nekrosen der jüngeren Pflanzenteil begleitet. Bei Cucumis bewirkte ein relativ hoher Zusatz von SM zum Boden neben Chlorosen an den Blättern ein verstärktes Austreiben von Axillarsprossen sowie das Auftreten mützenförmiger Blattdeformationen. An den Wurzeln von Pisum und Vicia traten Anschwellungen in der Streckungszone unmittelbar hinter dem Vegetationspunkt auf, bedingt durch starke Vergrößerung und Formveränderung der Rindenparenchymzellen.

2. Glycine soja und Helianthus annuus konnten in Wasserkultur durch SM nicht im Wachstum gefördert werden. Auf diese Pflanzen wirkte das Antibiotikum schon in sehr geringen Mengen toxisch. Bei Glycine traten eigentümliche Nekrosen an den Primärblättern, bei Helianthus Chlorosen der jüngeren Blätter - verbunden mit Veränderungen der Blattform - und Stengelteile auf, die mit steigender SM-Menge an Intensität und Ausdehnung zunahmen. An Sonnenblumen, die erst in einem späteren Entwicklungsstadium mit höheren SM-Dosen behandelt worden waren (SM als Zusatz zur Nährlösung in Wasserkultur bzw. Besprühen der Pflanzen mit SM-Lösungen), wurde eine Zerstörung bereits vorhandenen Chlorophylls beobachtet, z. T. nach vorherigem Auftreten typischer Magnesium-Mangelerscheinungen.

3. Mit SM-Lösungen besprühte Pflanzen von Cucumis sativus und Spinacia oleracea zeigten eine Förderung des Sproß-Längenwachstums in Abhängigkeit von der Konzentration der Spritzlösung. Bei Cucumis wurden Anzahl und Geschlecht der Blüten durch das Antibiotikum beeinflußt.

4. An Pflanzen von Callistephus chinensis traten als Folge einer wiederholten Spritzung mit SM-Lösungen in höheren Konzentrationen Magnesium-Mangelsymptome auf, die durch Besprühen der Pflanzen mit $MgSO_4$-Lösung zum Verschwinden gebracht werden konnten. Das Auftreten von Mg-Mangelerscheinungen wurde auch an Nicotiana alata in Wasserkultur beobachtet.

5. SM-induzierte Wachstumshemmungen an grünen Pflanzenteilen und Wurzeln von Avena sativa und Zea mays in Wasserkultur konnten durch starke Erhöhung des Mg- bzw. Mn-Ionen-Gehaltes der Nährlösung mehr oder weniger weitgehend kom-

pensiert werden. Eine Erhöhung des Mg^{++}-Gehaltes der Nährlösung wirkte deutlich abschwächend auf die SM-induzierten Chlorosen bei Helianthus, während Mn^{++} hier ohne Wirkung blieb. Bei Glycine konnte das Auftreten von SM-induzierten Nekrosen an den Blättern durch starke Erhöhung der Mg^{++}-Konzentration der Lösung verhindert werden.

6. An Hand der beobachteten Phänomene, insbesondere der chlorotischen Erscheinungen und der antagonistischen Wirkung des Magnesiums, wird versucht, die Wirkung des SM auf den Stoffwechsel der höheren Pflanze auf der Grundlage eines Chelateffektes zu erklären.

Literatur

1) ALBERT, A.: Avidity of terramycin and aureomycin for metallic cations. Nature 172, 201 (1953)

2) ANDERSON, H.W. und I. NIENOW: Effect of streptomycin on higher plants. Phytopathology 37, 1 (1947)

3) ANONYM: Nonpharmaceutical uses of antibiotics. Agric. and Food Chem. 1, 1096 - 1102 (1953)

4) BARTON, L.V. und J. MacNAB: Effect of antibiotics on plant growth. Contrib. Boyce Thompson Inst. 17 (7), 419 - 434 (1954)

5) BEEKMANN, H.: Untersuchungen über den Umsatz von Carotinoiden in höheren Pflanzen. Z. f. Botanik 42, 387 - 435 (1954)

6) BEIN, M., R. SIGNER, W.H. SCHOPFER: Einfluß von Penicillin auf die Wurzelkultur (Zea mays). Nachweis von β-Indolylessigsäure (Heteroauxin) im Handelspenicillin. Experientia 3, 291 - 292 (1947)

7) BHATTACHARYJA, S.S. und H.F. LINSKENS: Über den Einfluß von "Systox", "Metasystox" und "Pestox" auf die Kerne und Chromosomen von Vicia faba. Phytopathol. Z. 23, 233 - 247 (1955)

8) BLANCHARD, F.A. und V.M. DILLER: Uptake of aureomycin through the roots of Phaseolus lunatus. Am. Journ. of Bot. 38, 111 - 112 (1951)

9) BLOCK, S.S.: Fungitoxicity of the 8-Quinolinols. J. of Agric. and Food Chem. 3, 229 - 234 (1955)

10) BRACCO, M. und H. v. EULER: Chloroplasten und Chloroplastin in Blattzellen normaler und mit Streptomycin gekeimter junger Pflanzen. Kemiska Arb. N. F. II Bd. 10 (1947)

11) - " - und - " - : Precipitation of isolated nucleic acids, nucleoproteins and enzymoids by streptomycin. Kemiska Arb. N. F. II Bd. 10 (1947)

12) - " - und - " - : Einwirkung von Streptomycin und anderen Guanidin-Derivaten auf Nukleotide, Nukleinsäuren, Nukleoproteide und Nukleoproteidkomplexe. Kemiska Arb. N. F. II Bd. 10 (1948)

13) BRIAN, P.W. und H.G. HEMMING: The effect of gibberellic acid on shoot growth of pea seedlings. Physiol. Plantarum 8, 669 - 681 (1955)

14) BRUHIN, A.: Über die polyploidisierende Wirkung eines Samenbeizmittels. Phytopathol. Z. 23, 381 - 394 (1955)

15) BUSSLER, W.: Ein physiologischer Test auf Bor. Z. f. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. 73 (118), 127 - 140 (1956)

16) COHEN: - J. biol. Chem. 168, 511 (1947), zit. nach SCHOPFER et al. (69)

17) CORTESI, R.: Untersuchungen über den Einfluß der Antibiotika auf die Keimung. Fitoterapia N. S. 25, 523 - 525 (1954), ref. Chem. Zbl. 126, 9365 (1955)

18) CHRISTENSEN, H.N.: Possible role of chelation between alkali metals and pyridoxal in biological transport. Science 122, 1087 - 1088 (1955)

19) DEUEL, H.: Über Störungen des Spurenelementhaushalts der Pflanzen durch Welketoxine (Literaturbesprechung). Phytopathol. Z. 21, 337 - 348 (1954)

20) DIXON und NEEDHAM: - Nature 158, 432 (1946), zit. nach LEHMANN (41)

21) EULER, H. v.: Über die Keimung von Samen unter Einwirkung antibiotischer Stoffe. I. Beeinflussung der Chlorophyllbildung. Ark. f. Kemi. Mineral. och Geol. 25A No. 17 (1947)

22) - " - : Einfluß des Streptomycins auf die Chlorophyllbildung. Kemiska Arb. N. F. II Bd. 9 (1947)

23) - " - : Einfluß von Streptomycin und Dihydro-streptomycin auf keimende Samen grüner Pflanzen. Hoppe-Seylers Z. f. physiol. Chemie 295, 411 - 413 (1953)

24) - " - und M. JAARMA: Gleichzeitige Wirkungen wachstumsfördernder und bakteriostatischer Stoffe. Ark. f. Kemi, Mineral. och Geol. 25A No. 7 (1947)

25) GÄUMANN, E., O. JAAG, R. BRAUN: Antibiotika als pflanzliche Plasmagifte. Experientia 3, 70 - 71 (1947)

26) GÄUMANN, E., St. NAEF-ROTH und H. KERN: Über die chelierende Wirkung einiger Welketoxine III. Phytopathol. Z. 24, 373 - 406 (1955)

27) GÄUMANN, E. und St. NAEF-ROTH: Über die chelierende Wirkung einiger Welketoxine I. Phytopathol. Z. 21, 349 - 366 (1954)

28) GILMAN, A. und F.S. PHILIPS: The biological actions and therapeutic applications of the B-chloroethyl amines and sulfides. Science 103, 409 - 415, 436 (1946)

29) GRAY, R.A.: Inhibition of root growth by streptomycin and reversal of the inhibition by manganese. Am. Journ. of Bot. 42, 327 - 331 (1955)

30) GROS, MACHEBOEF und JARDIN: - Ann. Inst. Pasteur 75, 242 (1948), zit. nach SCHOPFER et al. (69)

31) HARRIS, W.E.: Effect of five antibiotics in varying concentrations on growth of young corn plants. Butler Univ. Bot. Stud. 11, 71 - 86 (1953)

32) HAVINGA, E., V. LYNCH, L. NORRIS und M. CALVIN: - Rec. trav. chim. 72, 597 - 611 (1953), zit. nach NICKELL und FINLAY (53)

33) HEATH, O.V.S. und J.E. CLARK: Chelating agents as plant growth substances. Nature 177, 1118 - 1121 (1956)

34) HEROLD, M.: Antibiotika, Berlin 1956

35) KRAUTER, E.: Eine neue Schnellfärbung für botanische Objekte. Ref. Laboratoriumsbl. 5, 23 (1955)

36) KRIBBEN, F.J.: Wuchsstoffuntersuchungen. Ber. d. Deutschen Bot. Ges. 67, 107 - 110 (1954)

37) - " - : Der Einfluß der Antibiotika Terramycin und Leukomycin auf das Streckungswachstum höherer Pflanzen. Die Naturwissensch. 41, 144 - 145 (1954)

38) KÜSTER, E.: Samenbehandlung mit Antibiotika und anderen Mikroorganismen-Stoffwechselprodukten. Vortrag bei der Arbeitstagung der Fachgr. "Landwirtsch. Mikrobiologie" des Verb. Deutscher Landwirtsch. Unters.- u. Forschungsanstalten in Braunschweig-Völkenrode am 17.4.1956

39) KUTSCHAJEWA, A.G. und S.A. JEGOROWA: Über das Eindringen von Antibiotika in mehrjährige Pflanzen (russ.) Mikrobiologija 24, 315 - 320 (1955), ref. Z. f. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 71 (116), 169 (1955)

40) LEBEN, C. und G.W. KEITT: Effect of antibiotics in control of plant diseases. Agric. and Food Chem. 2, 234 - 239 (1954)

41) LEHMANN, F.E.: Chemische Beeinflussung der Zellteilung. Experientia 3, 223 - 232 (1947)

42) MACHT, D.J. und T.E. HOFFMASTER: The action of antibiotics on oxidation-reduction enzymes of lupinus seeds. Arch. internat. Pharmacodyn. 83, 207 (1950)

43) MATTEI, F.: Coltore idroponiche alla penicillina per piante da orto e da fiori. Riv. ital. Ess., Profumi, Piante officin., Olii veget., Saponi 35, 497 - 498 (1953)

44) MELLOR, D.P. und L. MALEY: Stability constants of internal complexes. Nature 159, 370 (1947) zit. nach GÄUMANN et al. (50)

45) - " - und - " - : Order of stability of metal complexes. Nature 161, 436 - 437 (1948), zit. nach GÄUMANN et al. (50)

46) MITCHELL, J.W., W.J. ZAUMEYER und W.P. ANDERSON: Translocation of streptomycin in bean plants and its effect on bacterial blights. Science 115, 114 (1952)

47) MUDRA, A.: Einführung in die Methodik der Feldversuche, Leipzig 1952

48) MÜLLER, P.: Die Antibiotica und ihre Anwendung in der Medizin und im Pflanzenschutz. Naturw. Rundsch. 8, 129 - 137 (1955)

49) MYRBÄCK, K.: Enzymatische Katalyse, Berlin 1953

50) GÄUMANN, E. und St. NAEF-ROTH: Über die chelierende Wirkung einiger Welketoxine IV. Phytopathol. Z. 25, 418 - 444 (1956)

51) NICKELL, L.G.: Stimulation of plant growth by antibiotics. Proc. Soc. Exp. Biol. and Med. 80, 615 - 617 (1952)

52) - " - : Antibiotics in the growth of plants. Antibiot. and Chemotherapy 3, 449 - 459 (1953)

53) - " - und A.C. FINLAY: Antibiotics and their effects on plant growth. Agric. and Food Chem. 2, 178 - 182 (1954)

54) NISSEN, T.V.: Effects of antibiotics on carbon dioxide produktion in soil. Nature 174, 226 - 227 (1954)

55) NORMAN, A.G.: Terramycin and plant growth.
Agron. Journ. 47, 585 - 587 (1955)

56) PETERS, J.J.: Cytological effects of sulfanilamide.
Bot. Gaz. 107, 390 - 392 (1946)

57) POLLOCK, B.M., R.H. GOODWIN und S. GREEN: Studies on roots. I. Effect of coumarin, scopoletin and other substances on growth.
Am. Journ. of Bot. 41, 521 - 529 (1954)

58) PRAMER, D.: Observations on the uptake and translocation of 5 actinomycete antibiotics by cucumber seedlings.
Am. Appl. Biol. 40, 617 (1953)

59) PROVASOLI, L., S.H. HUTNER, A. SCHATZ: SM-induced chlorophyll-less races of Euglena.
Proc. Soc. Exp. Biol. and Med. 69, 279 - 282 (1948)

60) - " - , - " - , I.J. PINTNER: Destruction of chloroplasts by streptomycin. Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol. 16, 113 - 120 (1951)

61) RIBEIRO, D.F.: Penicillin action on the germination of seeds.
Science 104, 18 (1946)

62) ROSEN, W.G.: Plant growth inhibition by streptomycin and its prevention by manganese.
Proc. Soc. Exp. Biol. and Med. 85, 385 - 388 (1954)

63) RÜDIGER, W.: Über die Wirkung von U 46 (2,4-D-Na) auf Lein.
Beitr. zur Biol. der Pfl. 29, 185 - 196 (1952)

64) SAZ, A.K. und R.B. SLIE: Manganese reversal of aureomycin inhibition of bacterial cell-free nitro-reductase.
Journ. Am. Chem. Soc. 75, 4626 - 4627 (1953)

65) SMITH, W.J.: Effect of penicillin on seed germination.
Science 104, 411 - 413 (1946)

66) SCHEFFER, F. und A. KLOKE: Der Einfluß von Antibiotika auf die Entwicklung und den Nährstoffgehalt von Kulturpflanzen.
Z. f. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 66 (111), 29 - 38 (1954)

67) SCHOLZ, G.: Die Rolle von Chelaten bei der Eisenversorgung und im Stoffwechsel der Pflanze. Z. f. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 76 (121), 133 - 145 (1957)

68) SCHOPFER, W.-H., M. BEIN und G. BESSON: Action de la streptomycine et de la chloromycétine sur la biogenèse de la chlorophylle et des caroténoides chez Pisum.
Actes Soc. Helv. Sc. Nat. 131, 148 - 149 (1951)

69) SCHOPFER, W.-H., E. GROB, G. BESSON, V. KELLER: Recherches sur les inhibiteurs du développement et de la biogenèse des caroténoides. I. La streptomycine.
Arch. de Sciences 5, 194 - 197 (1952)

70) STOKES, A.: Uptake and translocation of griseofulvin by wheat seedlings.
Plant and Soil 5, 132 - 142 (1954)

71) STOKSTAD, E.L.R.: Antibiotics in animal nutrition.
Antibiot. and Chemotherapy 3, 434 - 441 (1953)

72) VENTURA, M.M.: Action of antibiotics on green plants. I. Inhibitory effect of terramycin on the growth of rootlets of germinating Zea mays. Escol. agron. Ceará, Pub. Téc. No. 3B, 8 pp. (1952), ref. Chem. Abstr. 46, 5675c (1952)

73) VOGEL, H.: Das Problem der Verwendung antibiotischer Wirkstoffe in der Tierernährung.
Naturw. Rundschau 8, 437 - 439 (1955)

74) WEINBERG, E.D.: The reversal of the toxicity of oxytetracycline (Terramycin) by multivalent cations.
J. infect. Diseases 95, 291 - 301 (1954)

75) WILSON, G.B.: Cytological effects of some antibiotics.
J. of Heredity 41, 226 - 231 (1950)

76) - " - und C.C. BOWEN: Cytological effects of some more antibiotics.
J. of Heredity 42, 251 - 255 (1951)

77) WINTER, A.G.: Untersuchungen über die Aufnahme von Penicillin und Streptomycin durch die Wurzeln von Lepidium sativum L. und ihre Beständigkeit in natürlichen Böden.
Z. f. Botanik 40, 153 - 172 (1952)

78) - " - und L. WILLEKE: Über die Aufnahme von Antibioticis durch höhere Pflanzen und ihre Stabilität in natürlichen Böden.
Die Naturwissensch. 38, 457 - 458 (1951)

79) WRIGHT, J.M.: Phytotoxic effects of some antibiotics.
Ann. Bot. (N. S.) 15, 493 - 499 (1951)

80) ZENTMYER, G.A.: Inhibition of metal catalysis as a fungistatic mechanism.
Science 100, 294 - 295 (1944)

L e b e n s l a u f

Ich wurde am 11. August 1930 in Berlin als Sohn des damaligen Beamtenanwärters, heutigen Amtmanns an St. Nikolai und St. Marien zu Berlin, Gustav L e h , und seiner Ehefrau Charlotte, geb. Ollenburg, geboren.

Von 1937 bis 1941 besuchte ich die 24. Volksschule in Berlin, von 1941 bis 1943 die Friedrichwerdersche Oberschule in Berlin, 1943/44 das Pädagogium in Züllichau und ab 1945 die Max-Planck-Schule in Berlin, wo ich am 14. Juni 1949 die Reifeprüfung ablegte.

Mit Beginn des Sommersemesters 1951 nahm ich an der Freien Universität Berlin das Studium der Botanik auf. Am 3. Mai 1958 bestand ich vor dem Wissenschaftlichen Landesprüfungsamt Berlin die wissenschaftliche Prüfung für das höhere Lehramt, am 9. Juni 1958 das Doktorexamen an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Freien Universität Berlin.

- - - - - - - - - - -

Die vorliegende Arbeit entstand in der Zeit von Mai 1955 bis April 1957 im Institut für Pflanzenernährung, Bodenchemie und Bodenbiologie der Technischen Universität Berlin. Meinem sehr verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Rauterberg, möchte ich an dieser Stelle für die mir zuteil gewordene Unterstützung und Förderung herzlich danken.